

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**COMPARAÇÃO ENTRE IMAGENS PANCRÔMICAS DO
SATÉLITE IKONOS-II E LANDSAT/ETM+ NA
IDENTIFICAÇÃO DE PLANTIOS DE CAFÉ (*Coffea arabica*)**

GLÁUCIA MIRANDA RAMIREZ

**CAMPINAS
NOVEMBRO DE 2002**

**BIBLIOTECA CENTRAL
DESENVOLVIMENTO
COLEÇÃO
UNICAMP**

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por **GLÁUCIA MIRANDA RAMIREZ**, aprovada pela Comissão Julgadora em 18 de novembro de 2002.

Campinas, 23 de agosto de 2005.


PROF. DR. JURANDIR ZULLO JUNIOR
Presidente

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**COMPARAÇÃO ENTRE IMAGENS PANCRÔMICAS DO
SATÉLITE IKONOS-II E LANDSAT/ETM+ NA
IDENTIFICAÇÃO DE PLANTIOS DE CAFÉ (*Coffea arabica*)**

Dissertação submetida à banca examinadora
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola na área de concentração
Planejamento e desenvolvimento rural
sustentável

GLÁUCIA MIRANDA RAMIREZ
ORIENTADOR: PROF. DR. JURANDIR ZULLO JUNIOR

CAMPINAS
NOVEMBRO DE 2002

BIBLIOTECA CENTRAL
DESENVOLVIMENTO
COLEÇÃO
UNICAMP

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

R145c Ramirez, Gláucia Miranda
Comparação entre imagens pancromáticas do satélite
Ikonos-II e Landsat/ETM + na identificação de plantios de
café (*Coffea arábica*) / Gláucia Miranda Ramirez.--
Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Jurandir Zullo Junior
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Café - Sensoriamento remoto. 2. Café Pesquisa. 3.
Landsat (Satélites). 4. Café – Plantio. I. Zullo Junior,
Jurandir. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

À minha filha **Vitória** pelo carinho e
compreensão, durante minhas ausências
e aos meus pais **Nelson** e **Aparecida** pelo
exemplo de vida e incentivo desde os primeiros
dias de escola

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jurandir Zullo Junior pela oportunidade, incentivo, apoio e orientação durante a realização deste trabalho.

À Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas pela oportunidade de realização do curso.

À CAPES pelo apoio financeiro dado durante a realização da dissertação e ao Consorcio Brasileiro de Pesquisas do Café pelo apoio durante os levantamentos de campo.

À minha irmã Alessandra, ao meu cunhado Leonardo, à minha tia Lúcia e ao Eduardo que sempre apoiaram e acreditaram no meu projeto de vida.

Aos Doutores Hilton Silveira Pinto, Eduardo Delgado Assad, Rubens Camargo Lamparelli e Jansle Vieira Rocha pelos ensinamentos técnicos, sugestões e apoio durante todo o desenvolvimento do trabalho.

A cinco grandes amigos pelo estímulo, suporte técnico e, principalmente emocional: Vanilde, Wander, Ana, Emília e Carlos.

A todo pessoal do Cepagri (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicada à Agricultura) pelo carinho e acolhimento: Edilene, Claudir, Joaquim, Adriana, Ângela e Gustavo. E aos estagiários que por lá passaram: Evandro e Felipe.

Às amigas e amigos: Lucia, Júlio, Renato, Rose, Rojane, Marcão, Vanildo, Rogério, Liane e Márcia pelos momentos juntos que compartilhamos.

Às amigas de hoje e sempre: Mônica, Juliana, Carolina e Raquel.

À Aninha, Marta e Rosângela sempre prestativas e amigas.

E a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Aspectos gerais da cultura do café (<i>Coffea arabica</i>) e seu comportamento espectral	3
2.2. Sensoriamento remoto na cultura do café	6
2.3. Técnicas de Pré-processamento	10
3. MATERIAL E METODOS	13
3.1. Material	13
3.1.1. Área de Estudo	13
3.1.2. Imagens de satélites	13
3.2. Métodos	16
3.2.1. Seleção dos talhões e coleta dos parâmetros culturais	18
3.2.2. Correção atmosférica e transformação dos valores digitais para valores de reflectância	25

3.2.3. Coleta dos valores digitais e/ou valores de reflectância referentes aos talhões levantados em campo	26
3.2.4. Análise Estatística	28
3.2.4.1. Teste de comparação de médias	28
3.2.4.2. Análise de Correlação	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. Análise visual da imagem do IKONOS-II e identificação dos talhões na imagem	31
4.2. Avaliação da relação entre as propriedades levantadas em campo e os valores registrados nas imagens.	32
4.2.1. Imagem do IKONOS-II com valor de nível de cinza	32
4.2.2. Imagem do IKONOS-II com valor de reflectância	36
4.2.3. Imagem LANDSAT/ETM+ com valor de reflectância	38
4.3. Comparação entre os resultados das imagens do IKONOS-II e do LANDSAT/ETM+	51
4.4. Correlação dos parâmetros da cultura com a resposta espectral das imagens.	55
5. CONCLUSÕES	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Esquematização das fases fenológicas do cafeeiro nas condições climáticas tropicais do Brasil	4
2. Resposta espectral de uma folha verde e sadia	5
3. Localização da área de estudo	14
4. Esquema da geometria de iluminação e de observação do satélite IKONOS-II	15
5. Fluxograma dos passos metodológicos do estudo	17
6. Imagem do canal pancromático do IKONOS-II correspondente à Fazenda Taquari	21
7. Localização dos talhões na Fazenda Taquari – Parte I.	22
8. Localização dos talhões na Fazenda Taquari – Parte II.	23
9. Localização dos talhões na Fazenda Taquari – Parte III.	24
10. Esquema da correção geométrica da imagem do LANDSAT/ETM+	27
11. Imagem do IKONOS-II com correção atmosférica e radiométrica (1) e imagem sem correção (2).	31
12. Esquema dos resultados da imagem do IKONOS-II com valor de nível de cinza.	35
13. Esquema dos resultados da imagem do IKONOS-II com valor de reflectância	37

14. Esquema dos resultados da imagem do LANDSAT/ETM+ banda 3 com valor de reflectância	42
15. Esquema dos resultados da imagem do LANDSAT/ETM+ banda 4 com valor de reflectância	46
16. Esquema dos resultados da imagem do LANDSAT/ETM+ banda 5 com valor de reflectância	50

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Características das bandas do LANDSAT7, faixas espectrais (F.E.), resolução espacial (R.E.) e aplicações.	7
2. Características das bandas espectrais do IKONOS-II	9
3. Característica dos talhões levantados em campo, agrupados em classes	20
4. Talhões levantados em campo, valores de reflectância encontrados nas imagens e valores de espaçamento (ESP), altura (ALT) e idade.	30
5. Valores de reflectância real e aparente registrados em um dos talhões levantados em campo.	32
6. Talhões não identificados na imagem do LANDSAT/ETM+ e suas áreas.	32
7. Pares de talhões (87) com características semelhantes no campo, segundo o agrupamento realizado.	33
8. Pares de talhões (18) na imagem com valores de nível de cinza que não possuem diferença estatística ao nível de 5% de significância e suas características levantadas em campo (de acordo com agrupamento realizado)	33
9. Pares de talhões (18) com valores de reflectância que não possuem diferença estatística ao nível de 5% de significância e suas características levantadas em campo (de acordo com o agrupamento realizado)	36
10. Pares de talhões (41) com características iguais no campo, segundo o agrupamento realizado	38
11. Pares de talhões (92) da banda 3 do LANDSAT/ETM+, com valores de reflectância, que não possuem diferença estatística ao nível de 5% de significância e suas características levantadas em campo (de acordo com o agrupamento realizado).	38

12. Pares de talhões (96) da banda 4 do LANDSAT/ETM+ com valores de reflectância que não possuem diferença estatística ao nível de 5% de significância e suas características levantadas em campo (de acordo com o agrupamento realizado).	43
13. Pares de talhões (81) da banda 5 do LANDSAT/ETM+ com valores de reflectância que não possuem diferença estatística ao nível de 5% de significância e suas características levantadas em campo (de acordo com o agrupamento realizado).	47
14. Porcentagem de talhões, sem diferença estatística entre suas médias, que estão na mesma classe em cada uma das quatro variáveis levantadas em campo.	51
15. Porcentagem de pares de talhões, diferentes no campo, mas sem diferença estatística significativa entre suas médias na imagem.	51
16. Porcentagem de pares de talhões, similares no campo, que apresentaram diferença estatística significativa entre suas médias na imagem.	52
17. Porcentagem de pares de talhões, similar no campo, não ter diferença significativa entre suas médias, na imagem.	53
18. Porcentagem de pares de talhões, diferentes no campo, que apresentaram diferença estatística significativa entre suas médias na imagem.	53
19. Porcentagem de pares de talhões, similares no campo (=c) ou diferentes ($\neq c$), que apresentaram diferença estatística significativa entre suas médias na imagem ($\neq i$) ou não (=i).	54
20. Porcentagem de pares de talhões que apresentaram diferença estatística significativa entre suas médias na imagem ($\neq i$), ou não (=i), e que são similares no campo (=c), ou diferentes ($\neq c$).	54
21. Coeficiente de correlação entre os parâmetros da cultura e a porcentagem de reflectância para as imagens.	55

RESUMO

O uso de técnicas de sensoriamento remoto orbital e geoprocessamento representa significativo avanço para os levantamentos de dados da agricultura, dados o seu caráter multiespectral e sua repetitividade. Sua aplicação no monitoramento de culturas torna-se cada vez mais importante, principalmente com a possibilidade do uso de sensores de melhor resolução espacial, espectral, temporal e radiométrica. Este trabalho teve como objetivo a avaliação do impacto do aumento das resoluções espacial e radiométrica da imagem pancromática do IKONOS-II na identificação de plantios de café (*Coffea arabica*) e sua comparando com a imagem do LANDSAT/ETM+. A área de estudo está localizada no município de Pedregulho, na Fazenda Taquari, aonde foram selecionados 50 talhões com plantios de café, sendo levantados em campo dados referentes à altura, idade, espaçamento e variedade de cada talhão. A análise estatística utilizada para avaliar os dados das duas imagens (imagem do satélite IKONOS-II e do LANDSAT/ETM+, bandas 3, 4 e 5) foi o teste de Tukey e a análise de correlação. As imagens analisadas mostraram-se eficientes na identificação de talhões com características diferentes em campo, sendo que a imagem do IKONOS-II com valor de reflectância foi a que apresentou melhor desempenho. Para os talhões com características iguais em campo, as imagens analisadas não se mostraram eficientes, independentemente do satélite utilizado. As correções atmosférica e radiométrica na imagem do IKONOS-II não proporcionaram ganho nas análises realizadas. Cerca de 68% dos talhões identificados na imagem do IKONOS-II puderam ser localizados na imagem do LANDSAT/ETM+. A correlações significativas entre as bandas 3, 4 e 5 do LANDSAT/ETM+ e o canal pancromático do IKONOS-II indica uma forma de ligação entre as imagens dos dois satélites que permitirá aproveitar as vantagens de cada um na determinação da área plantada.

ABSTRACT

The use of orbital remote sensing and geoprocessing techniques represents significant advance for agriculture data surveying, considering its multispectral feature and repetitiveness. Its application for crop monitoring becomes more important, mainly with the possibility of using the sensors of high spatial, spectral, temporal and radiometric resolution. This work aimed the evaluation of the high spatial and radiometric resolutions from panchromatic images of IKONOS-II in the identification of coffee (*Coffea arabica*) planting areas, and its comparison to LANDSAT/ETM+ imagery. The study area is located in the city of Pedregulho, Taquari farm, where 50 coffee areas were selected. In each area it was collected information about plant's features, like height, age, spacing and variety. The statistic analysis used to evaluate the data (from IKONOS-II panchromatic imagery and from LANDSAT/ETM+, bands 3, 4 and 5) was done using Tukey's test and the correlation's analysis. According to the accomplished analysis, the images showed to be efficient in the identification of coffee areas with different field features, and the calibrated IKONOS-II image showed the best results. Considering the areas with similar field features, both analyzed satellite images didn't showed to be efficient in the coffee identification. The atmospheric and radiometric corrections applied on the IKONOS-II image didn't improve the analysis results. More than the half of the identified areas in the IKONOS-II image could be found in the LANDSAT/ETM+ image (68%). The significant correlation between LANDSAT/ETM+ (bands 3, 4 and 5) and IKONOS-II panchromatic channel shows a link between both satellite images.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil contribui com cerca de 25% da produção mundial de café, o que corresponde aproximadamente a 5,1% do valor total das exportações brasileiras. A importância da cafeicultura na economia brasileira reside em sua participação na receita cambial, na capacidade de transferir renda a outros setores da economia, no potencial de formação de capital no setor agrícola e na expressiva capacidade de absorção de mão-de-obra.

O Estado de São Paulo é um dos principais produtores de café do país, fundamental no agronegócio cafeeiro do Brasil. Esta posição é resultado da combinação de uma infra-estrutura portuária (essencial para o escoamento da produção de outras regiões) e também por possuir o maior parque industrial para beneficiamento de café do país (EMBRAPA, 2000).

O valor de mercado do café oscila conforme a ação de inúmeros fatores, entre eles: níveis de produção, níveis de estoque e adversidade climática. Por isso, a obtenção de informações precisas, em tempo hábil e a baixo custo, sobre a extensão e o rendimento da cultura são de grande importância; sobretudo pela representatividade desta rubiácea na economia brasileira, principalmente na área de exportações.

Embora exista demanda na ampliação de estudos que determinem com objetividade as áreas de plantio e o rendimento das culturas, não se dispõe no Brasil de metodologia operacional para este fim. Os sistemas de determinação da produção existentes baseiam-se somente na relação do produto da área ocupada pelas culturas (na escala de uma região, estado ou país) e o rendimento médio da cultura. Segundo a “Food and Agriculture Organization” (FAO, 1996), os valores de cada uma destas variáveis podem ser obtidos por meio de dois mecanismos principais: os censos agropecuários e os levantamentos baseados em amostragens da população agrícola.

A partir de 1986, o IBGE, em convênio com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), iniciou a implantação do Sistema de Informações Agropecuárias (SIAG) em grande escala. Tal sistema está baseado em métodos probabilísticos, técnicas de sensoriamento remoto e processamento de dados.

O uso de recursos de sensoriamento remoto orbital e geoprocessamento significa um expressivo avanço no que campo de levantamentos de dados sobre a agricultura, sobretudo por ser um sistema de caráter multiespectral que possibilita repetitividade, custo racional e por estar menos sujeito a erros de análise humana (EIPHANIO et al, 1994; DALLEMAND et al, 1988).

A aplicação destas técnicas no monitoramento de culturas com sensores de melhor resolução espacial, espectral, temporal e radiométrica torna-se cada vez mais importante. Com o lançamento do satélite IKONOS-II, em 1999, surgiu uma nova perspectiva para a determinação da área plantada de culturas agrícolas com apoio de sensores remotos, devido à superioridade da resolução espacial (1m no modo pancromático) e radiométrica (11 bits), em comparação com os sistemas orbitais até então disponíveis.

Este trabalho baseia-se na hipótese que a melhoria da resolução espacial e radiométrica das imagens de sensoriamento remoto trazem benefícios na identificação de plantios de café, proporcionando determinação da área plantada e assim fornecendo subsídios para procedimentos de previsão de safra.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do aumento da resolução espacial e radiométrica de imagens do IKONOS-II na identificação de plantios de café (*Coffea arabica*), em comparação com os resultados obtidos com as imagens do LANDSAT/ETM+.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos gerais da cultura do café (*Coffea arabica*) e seu comportamento espectral

Em 1998, os maiores produtores de café no Brasil foram os Estados de Minas Gerais (58,9%), São Paulo (13,2%), Paraná (6,0%), Espírito Santo (14,8%) e Bahia (2,4%), que juntos contribuíram com 95,3% da produção brasileira de café.

Do ponto de vista socioeconômico, a cultura mantém significativa relevância por constituir-se em importante opção no planejamento de uso das propriedades agrícolas, sendo tradicionalmente uma fonte de renda para produtores rurais, além de absorver cerca de 10% de toda mão-de-obra rural (FATOR, citado por HEMERLY, 2000).

O cafeeiro é adaptado a clima ameno, subtropical, com temperatura média entre 18°C e 22°C e deficiência hídrica inferior a 150mm anuais. As condições mais apropriadas de cultivo da cultura, para o Estado de São Paulo, são encontradas a 400m de altitude, ao sul do paralelo 22° e 500m ao norte deste paralelo (FAZUOLI et al, 1990).

A espécie de café mais valorizada comercialmente é a arábica, devido ao seu aroma e sabor. De acordo com MATIELLO (2001), cerca de 74% do parque cafeeiro nacional é ocupado com a espécie arábica, o que corresponde a quase quatro bilhões de pés. Atualmente, as duas variedades mais cultivadas são Mundo Novo e Catuaí. Mesmo estando presentes em grande parte da área brasileira destinada ao cultivo desta rubiácea, essas variedades vem sendo gradativamente substituídas por novas variedades, devido ao uso de linhagens que possuem certo grau de resistência à pragas e doenças.

Segundo Camargo e Camargo (2001), para atingir o estágio fenológico de frutificação o cafeeiro exige dois anos, fator que o difere da maioria das plantas agricultáveis, que completam seu ciclo produtivo em um ano (Figura 1).

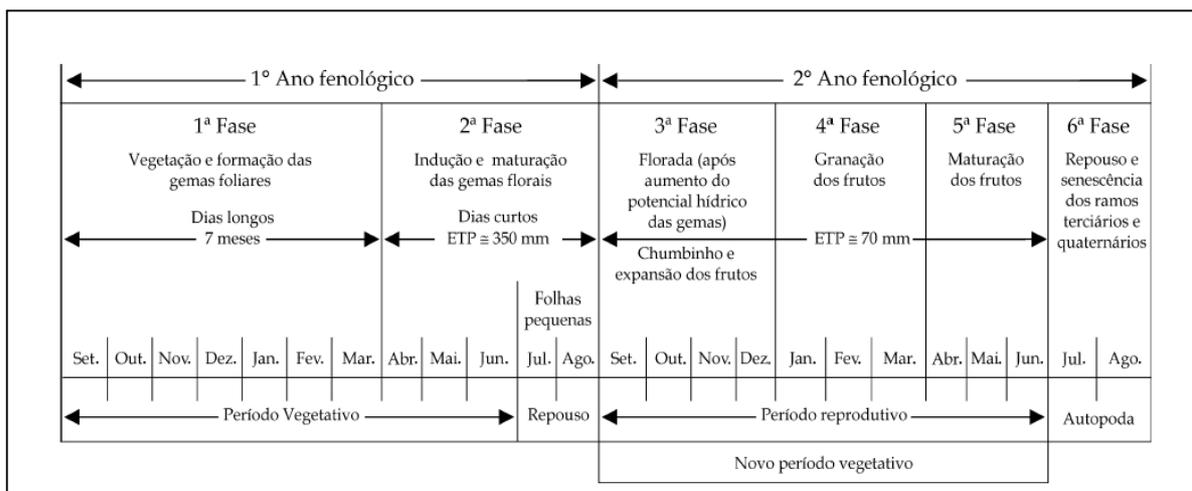


Figura 1: Esquematização das fases fenológicas do cafeeiro nas condições climáticas tropicais do Brasil (Fonte: CAMARGO e CAMARGO, 2001)

As lavouras de café apresentam floradas principais no início de setembro, em regiões com temperaturas mais elevadas. Em regiões com temperaturas médias anuais inferiores a 20°C, como é o caso das regiões de Franca (SP), Machado (MG) e Londrina (PR), a florada principal acontece no final de setembro e no início de outubro (CAMARGO e CAMARGO, 2001).

Os espaçamentos de plantio utilizados na cafeicultura variam em função do manejo, da cultivar e da topografia do terreno. Os espaçamentos tradicionais de plantio em quadrado, até a década de 60, variavam de 3,5m a 4,0m entre linhas e 3,5m a 4,0m entre covas. Com a renovação dos cafezais, promovida a partir da década de 70, foram introduzidos espaçamentos mais racionais, visando facilitar as práticas de cultivo nas lavouras.

Um dos sistemas de plantio muito utilizado atualmente é o adensado, com espaçamentos que variam de 1,5m a 2,5m entre linhas e 0,5m a 1,0m entre covas. Este sistema é indicado para melhor aproveitamento das áreas de plantio, para regiões montanhosas e pequenas propriedades (MATIELLO, 1991).

Existem várias práticas culturais realizadas anualmente, entre elas: capina, arruação e esparramação, conservação do solo, podas, instalação de quebra ventos, adubação e controle de pragas e doenças (MATIELLO, 1991).

Conhecer a cultura os tratos culturais associados a ela é de grande importância quando se utiliza técnica de sensoriamento remoto, pois a resposta espectral da vegetação não depende somente da reflectância das folhas individuais.

Segundo IPPOLITI-RAMILO (1998), o conhecimento da resposta espectral das folhas individuais é importante no estudo do comportamento da vegetação, mas não pode ser extrapolado, sem modificações, para uma cultura estabelecida em condições de campo. De acordo com KNIPPLING (1970), a reflectância de um dossel vegetal é semelhante à reflectância de uma folha, mas modificada pela falta de uniformidade da radiação solar incidente, estrutura da planta, área foliar, sombra e refletividade do substrato ou fundo. Na Figura 2 é possível verificar a resposta espectral típica de uma folha verde e sadia.

Fazer o sensoriamento remoto da vegetação é um processo complexo por uma série de motivos, entre eles: as diferentes propriedades de reflexão foliar numa mesma planta, seus múltiplos componentes refletoras, a não-uniformidade da estrutura inter e intraplantas, o substrato contínuo de solo e os restos vegetais sobre o qual assenta-se, e que, por sua vez, apresentam propriedades de reflexão próprias.

No processo de medição da energia proveniente desse sistema, as configurações angulares do iluminante e dos instrumentos de medição contribuem para a modulação das propriedades de reflexão da vegetação (EPIPHANIO et al. 1996).

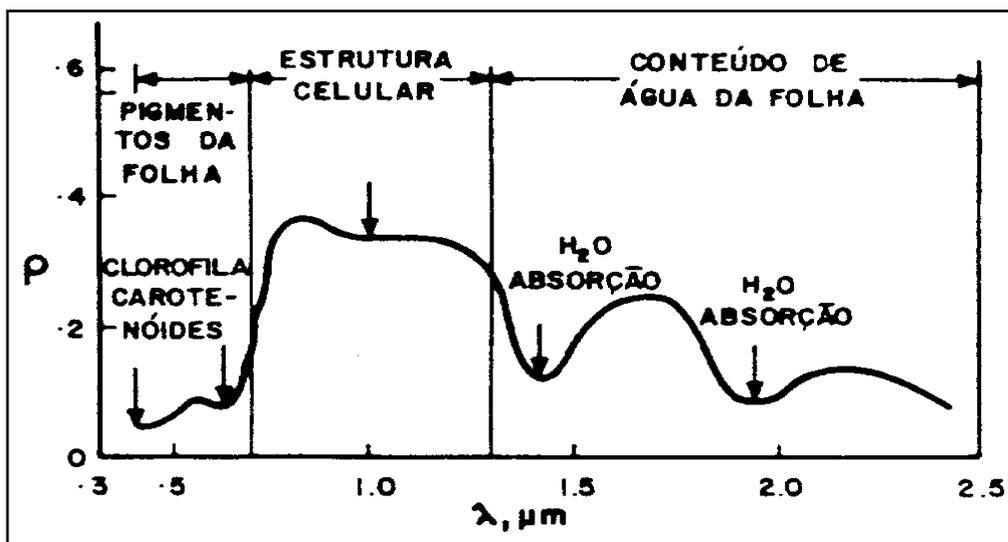


Figura 2: Resposta espectral de uma folha verde e sadia (Fonte: NOVO, 1989).

Segundo EPIPHANIO et al. (1994), a cultura do café, quando comparada a culturas anuais, apresenta resposta espectral mais complexa, pois o desenvolvimento da planta é mais lento e fatores como o solo, o sombreamento intra e entre fileiras e as características sazonais da cultura influenciam a reflectância do dossel.

2.2. Sensoriamento Remoto na Cultura do Café

Até o início da década de 70, a fotografia aérea era a ferramenta mais importante para o levantamento e monitoramento de áreas agrícolas. Segundo MATIELLO (1981), o uso de fotografias aéreas, principalmente a pancromática do tipo vertical, constituía-se em um dos principais produtos para o levantamento de recursos agrícolas. Vários trabalhos foram realizados comprovando a eficácia destas técnicas na agricultura TARDIN et al. (1975), análises dos danos causados pela geada em julho de 1975 na região Noroeste do Paraná, que afetou principalmente as culturas de trigo e café, concluíram que o uso de fotografias com filme infravermelho falsa cor, na escala de 1:21.000, viabilizam estudos dessa natureza.

Após o lançamento do satélite LANDSAT, em 1972, surgiu uma nova perspectiva com relação ao uso de sensores remotos na agricultura, dado o seu caráter espectral, temporal e, principalmente, o preço de aquisição das imagens (custo mais baixo em comparação com as fotografias aéreas).

O programa LANDSAT é composto de seis satélites que foram desenvolvidos pela National Aeronautics and Space Administration (NASA). O mais recente satélite em operação é o LANDSAT7, lançado em abril de 1999, que utiliza o sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). A imagem é composta por oito bandas espectrais: uma pancromática (banda 8), uma na faixa do infravermelho termal (banda 6), e outras seis dentro da faixa do visível e dos infravermelhos próximo e médio, que são as mais comuns para uso agrícola (Tabela1).

Os satélites da série LANDSAT são os mais empregados para fins agrícolas, e com o uso de dados provenientes desses equipamentos foi possível obter grandes avanços na identificação, avaliação e mapeamento de áreas agrícolas. Apesar disto, vários fatores ainda limitam a utilização das imagens de satélites em aplicações como o monitoramento, a estimativa de área plantada e a previsão de safras. Dentre eles, destacam-se: a resolução

espacial, a resolução temporal, a cobertura de nuvens em regiões tropicais, principalmente em épocas de chuva, o custo e o tempo de recebimento das imagens.

Tabela 1: Características das bandas do LANDSAT7, faixas espectrais (F.E.), resolução espacial (R.E.) e aplicações.

Banda	F. E. (μm)	R. E. (m)	Aplicações
1	0,45 – 0,52	30	Mapeamento de águas costeiras, diferenciação entre solo e vegetação, diferenciação entre vegetação de conífera e decídua.
2	0,53 – 0,61	30	Reflectância da vegetação verde e sadia.
3	0,63 – 0,69	30	Absorção de clorofila, diferenciação de espécies vegetais.
4	0,78 – 0,90	30	Levantamento da biomassa, delineamento de corpos d'água.
5	1,55 – 1,75	30	Medidas de umidade da vegetação, diferenciação entre nuvens e neve.
8	0,58 – 0,90	15	Resolução de 15m registrado com as demais bandas, facultam as imagens serem trabalhadas para ampliações até 1:25.000; possibilita boa separabilidade dos alvos para áreas rurais.

No caso específico da resolução espacial, a sua melhoria reduz o efeito negativo provocado pela mistura de pixels que contêm vários temas distintos, aumentando a precisão dos processos de classificação automática das imagens e permitindo um controle contínuo e atualizado de grandes áreas agrícolas. (IPPOLITI-RAMILO, 1998; DALLAMAND et al, 1988). VELLOSO (1974), TARDIN (1977), VELLOSO e SOUZA (1978) citam a resolução espacial do sistema sensor LANDSAT/MSS como um dos principais problemas da aplicação do sensoriamento remoto no levantamento de dados sobre a cafeicultura. BATISTA et al. (1978) também destacam a baixa resolução espacial como o principal problema do uso de imagens LANDSAT/MSS para a identificação e avaliação de áreas ocupadas com culturas de pequenos campos. Desse modo, a melhoria da resolução espacial poderá auxiliar significativamente tanto as estimativas de rendimentos de culturas como também as estimativas de área cultivada. Sendo este último um dos mais importantes em aplicações de monitoramento e estimativa de área agrícola, podendo desta maneira contribuir, por exemplo, nas previsões de safras.

Segundo BATISTA et al (1990), os satélites utilizados para avaliação dos recursos naturais sofreram sensíveis mudanças tecnológicas ao longo do tempo, principalmente no que se refere às resoluções espacial e espectral dos sensores. Vários trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar o potencial de dados obtidos por satélites, a fim de detectar, identificar e mapear áreas de culturas e, mais recentemente, estimar o rendimento agrícola das culturas.

TARDIN et al. (1990), para discriminar as culturas de café, citrus e cana-de-açúcar na região de Furnas (MG), utilizaram dados digitais do LANDSAT/TM correspondentes aos canais 3 (vermelho), 4 (infravermelho), 5 e 7 (infravermelho médio). As imagens foram analisadas utilizando um algoritmo de máxima verossimilhança para obtenção de matrizes de classificação. A banda 3 foi decisiva na discriminação da cana-de-açúcar, café e citrus. O melhor desempenho médio de classificação para as três culturas foi alcançado com a combinação 3, 4 e 5 (97,9%).

Para avaliação de produtos SPOT/HRV e LANDSAT/TM, na discriminação das culturas de café, cana-de-açúcar, trigo e pastagem no noroeste do Estado do Paraná, foram utilizadas duas imagens: uma do SPOT e outra do LANDSAT/TM. As imagens foram analisadas tanto de forma visual quanto na forma digital (análise automática). Para a análise visual foram utilizados quatro produtos: dois do modo multiespectral (XS), um do modo pancromático (PAN) e um do LANDSAT/TM. Os produtos do modo multiespectral e do LANDSAT/TM foram imagens apresentadas na forma de composições coloridas, obtidas a partir de combinações de diferentes filtros. A técnica de análise digital foi aplicada aos dados SPOT e LANDSAT utilizando um sistema interativo de análise de imagens multiespectral denominado I-100.

A separabilidade entre as culturas foi determinada utilizando um classificador de máxima verossimilhança. Na análise visual, considerando cada uma das culturas individualmente, o café foi mais bem discriminado com SPOT XS (10.07.86) e LANDSAT/TM, a pastagem com SPOT Pan, o trigo com SPOT XS (15.07.86) e LANDSAT/TM e a cana-de-açúcar com o SPOT (10.07.86 e 15.07.86) e LANDSAT/TM.

Individualmente, as bandas do visível, tanto do SPOT quanto do LANDSAT, obtiveram um melhor desempenho que os canais do infravermelho próximo para a

discriminação espectral de café e pastagem. A utilização de imagens SPOT mostrou grande benefício para a classificação visual, especialmente devido ao canal pancromático que possui melhor resolução espacial (BATISTA et al., 1990).

VIEIRA et al (2001) estudaram a correlação entre parâmetros culturais e resposta espectral da cultura do café, a partir de dados das imagens do LANDSAT/TM, com objetivo de estabelecer padrões de identificação para esta cultura. Os resultados mostraram que dentre as variáveis culturais avaliadas, apenas a percentagem de cobertura do terreno por plantas de café mostrou resposta significativa quando correlacionada com a resposta espectral da cultura na banda 4. Os autores afirmam que em cafezais formados (com cobertura maior que 50%), e em bom estado produtivo, o levantamento com a utilização do LANDSAT/TM é viável.

Com o lançamento do satélite IKONOS-II, em 24 de setembro de 1999, surgiu uma nova perspectiva na utilização de imagens de satélite em aplicações agrícolas, visto que a principal inovação deste satélite está na obtenção de imagens com até 1m de resolução espacial em modo pancromático e até 4m em modo multiespectral (Tabela 2). Trata-se, portanto, de um avanço considerável em relação aos sistemas LANDSAT e SPOT, até então disponíveis, que possuem resoluções espaciais que variam de 10m a 30m.

Tabela 2: Características das bandas espectrais do IKONOS-II

Bandas	Faixa espectral (μm)
Pancromática	0,45 – 0,90
Azul	0,45 – 0,52
Verde	0,52 – 0,60
Vermelho	0,63 – 0,69
Infravermelho próximo	0,76 – 0,90

Fonte: www.spaceimaging.com

O potencial de utilização das imagens do IKONOS-II é pouco conhecido. São necessários estudos que permitam avaliar suas limitações e contribuições para fins agrícolas, tais como na diferenciação de espécies vegetais, monitoramento de culturas, estimativas de área e previsão de safras.

2.3. Técnicas de Pré-processamento

O pré-processamento de imagens de satélite tem por finalidade minimizar os problemas ocasionados pelas várias perturbações que ocorrem no sistema sensor e na atmosfera, as quais interferem na interpretação dos dados das mesmas. Segundo NOVO (1988), as correções geométricas em imagens de satélite servem para reorganizar os pixels nela existentes, de acordo com um determinado sistema de projeção cartográfica. As imagens geradas por sensores remotos estão sujeitas à distorções espaciais e não possuem precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas apresentado. Portanto, faz-se necessária a correção geométrica destas imagens, segundo algum sistema de coordenadas, com o uso de processamento digital de imagens.

Uma técnica também muito utilizada no pré-processamento de imagens de satélite é a correção radiométrica. A função desse tipo de correção é “minimizar diferenças entre os níveis de cinza registrados por uma matriz de detectores. Essas diferenças decorrem de problemas de calibração dos detectores ou da não-linearidade da resposta dos detectores à radiância da cena” (NOVO, 1988).

“Para classificar estatisticamente tipos de cobertura, criar mosaicos digitais de várias imagens e detectar mudanças em imagens sucessivas de uma mesma área é comum o uso de valores digitais brutos (DN), oriundos das imagens de satélites. Entretanto, os números digitais, embora relacionados, não representam quantitativamente valores físicos reais (reflectância e radiância). Os níveis digitais são relacionados por um modelo linear (calibração) conforme a intensidade de energia radiante refletida. Contudo, não são diretamente comparáveis entre satélites diferentes devido às diferenças na calibração dos sensores.

A utilização dos valores físicos, sobretudo da reflectância, possibilita um melhor monitoramento do comportamento de uma determinada cobertura, uma vez que mudanças na sua resposta espectral estariam relacionadas somente às mudanças nas propriedades estruturais e espectrais da cobertura e não às mudanças no ângulo de iluminação solar ou variações dos sensores (degradação)” (PEREIRA et al., 1996).

Vários autores, tais como: ROBINOVE (1982), CHEN et al (1986), EPIPHANIO (1990) e ZULLO JR (1994), têm mostrado as vantagens de se usar dados digitais de imagens de satélite transformados em valores de radiância e reflectância para diversos tipos de aplicações. EPIPHANIO e FORMAGGIO (1988) realizaram um trabalho sobre o uso do número digital e da reflectância em sensoriamento remoto com dados de satélites. Apresentaram casos em que foi discutida a adequação do uso de valores de números digitais e de reflectância para extração de informações sobre alvos, por meio de sensoriamento remoto. Com os resultados encontrados concluíram que o comportamento espectral de alvos deve ser realizado com dados de reflectância e não com números digitais, por ser possível alcançar um resultado mais exato. Além disso, como primeiro passo da transformação dos níveis digitais, deve ser aplicada a correção para efeitos atmosféricos. A simples correção atmosférica, sem a devida transformação do número digital em reflectância, também não se mostrou um procedimento adequado à observação do comportamento espectral de alvos.

A radiância captada pelo sensor é proveniente tanto do alvo quanto da atmosfera. Como o valor da radiância proveniente do efeito atmosférico não contém informações relativas à superfície imageada, ele deve ser eliminado durante o pré-processamento das imagens (LEONARDI, 1990). Segundo ZULLO JR (1994), são muitos os efeitos provocados pela atmosfera em imagens de sensoriamento remoto, tais como a diminuição da faixa de valores digitais possíveis registrados pelo sensor, a diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e a alteração do brilho de cada ponto da imagem. Os gases e os aerossóis refletem, refratam, absorvem e espalham a radiação desde quando ela atinge a atmosfera até quando a deixa, depois de refletida pelo solo.

A correção atmosférica é imprescindível quando se usa imagens multitemporais ou imagens obtidas por mais de um satélite, por causa das variações das condições atmosféricas de uma data de aquisição para outra, ou da banda espectral de um satélite para outro, variações estas que afetam a qualidade dos resultados finais (ZULLO JR, 1994).

Vários sistemas computacionais foram desenvolvidos para a remoção dos efeitos atmosféricos em imagens de satélite, entre eles o SCORADIS, apresentado por ZULLO JR (1994). Este programa tem como base o modelo de transferência radiativa 5S (Simulation du Signal Satellitaire dans le Spectre Solaire), que foi desenvolvido a partir de trabalhos

experimentais realizados nas condições brasileiras de clima, disponibilidade de dados e condições atmosféricas. Vários autores vêm utilizando, com sucesso, este programa para correção de imagens de sensoriamento remoto, tais como: JOAQUIM (1998), HAMADA (2000), PELLEGRINO (2001) e VOLPATO (2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Área de Estudo

A área de estudo está localizada no município de Pedregulho, longitude 47,39°W e latitude 20,20°S (Figura 3). Este município situa-se na região da Mogiana, tradicional região produtora de café do Brasil. Essa região se desenvolveu a partir da cultura de café, que foi introduzida há aproximadamente 200 anos. Atualmente, o produto ainda exerce grande influência na economia da Mogiana e ocupa 47mil dos 450mil hectares de área cultivada (COFFEE BREAK, 2002).

A região da Mogiana possui altitudes que variam de 900m a 1000m, solos arenosos e produz café somente da espécie arábica, sendo que as variedades mais cultivadas são Mundo Novo e Catuaí. Segundo PICINI et al (1999), a produção e a sustentabilidade da região se deve a maior adoção de tecnologia, maior renovação do parque cafeeiro, melhor qualidade de bebida e, fundamentalmente, às condições climáticas apropriadas para o cultivo do café arábica.

3.1.2. Imagens de Satélites

Selecionou-se dentro do município de Pedregulho uma propriedade agrícola (Fazenda Taquari) que possui plantios de café com várias características. Ao todo, há cerca de um milhão de plantas de café nesta propriedade.

A Fazenda Taquari localiza-se entre as seguintes coordenadas: (20°10'3.29"/20°12'36.41")S e (47°24'23.34"/47°22'31.12")W. Esta propriedade possui tradição na produção de grãos de café e representa adequadamente os plantios existentes na

região. Foi escolhida por meio de consulta ao escritório da CATI (Coordenadoria de Assistência Técnica Integral), localizado na cidade de Franca.

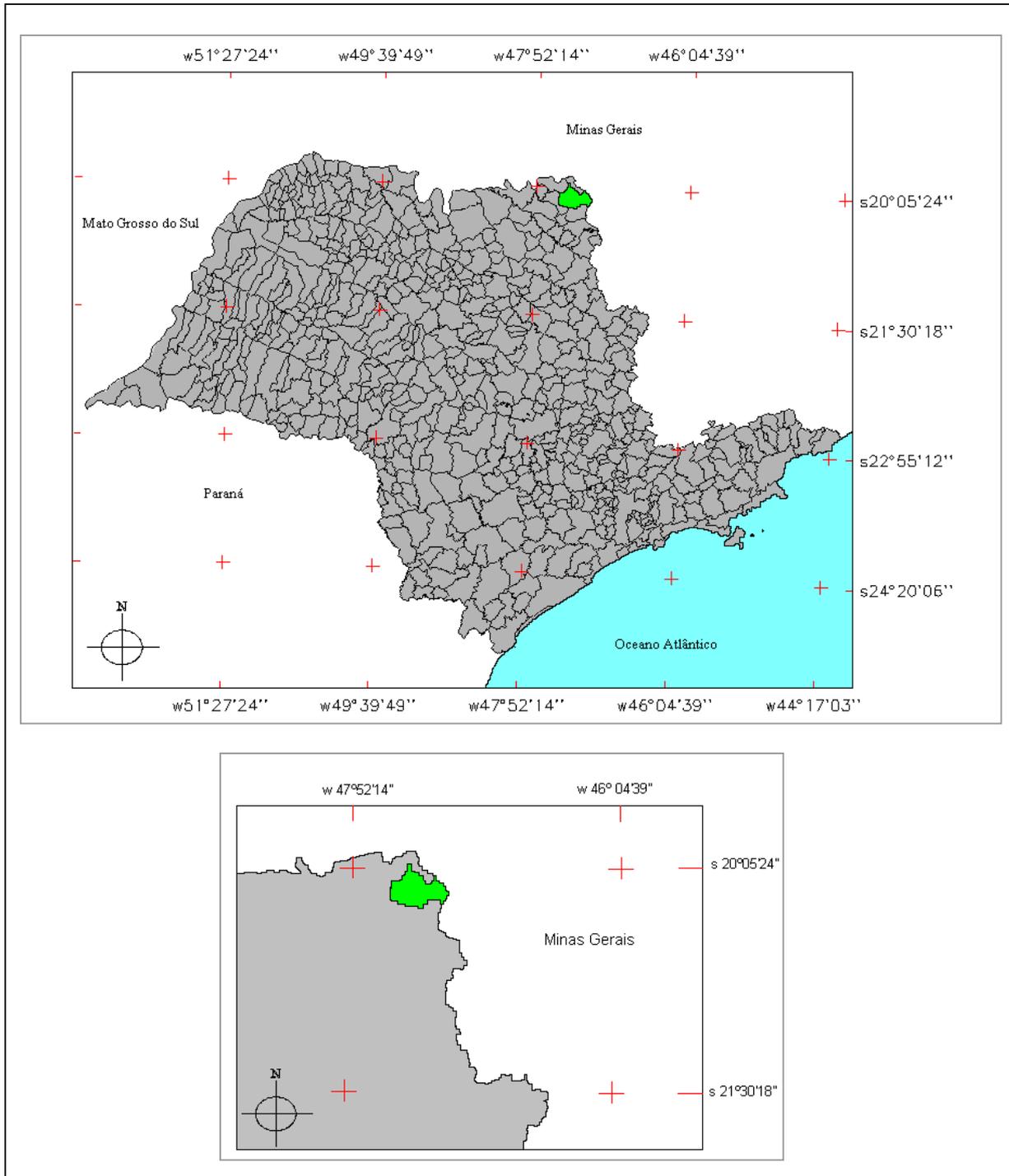


Figura3: Localização da área de estudo

Dentro desta propriedade foram identificados 50 talhões com plantios de café. Foram levantados em campo dados referentes à altura, idade, espaçamento e variedade de cada talhão. Estes parâmetros foram escolhidos por serem parte integrante dos questionários utilizados normalmente para a estimativa das safras de café.

Foram utilizadas imagens dos satélites IKONOS-II e LANDSAT/ETM+ para obtenção das informações espectrais desses talhões. A imagem do IKONOS-II utilizada foi a do canal pancromático, com resolução radiométrica de 11 bits e 1m de resolução espacial. A imagem foi adquirida no dia 29/9/2000, às 12h55, sendo que o ângulo azimutal solar e do satélite foi de $64,32^\circ$ e $86,6^\circ$, respectivamente (em relação ao Norte e sentido horário). O ângulo de elevação solar e do satélite foi de $54,85^\circ$ e $50,6^\circ$, respectivamente (Figura 4).

A imagem do satélite LANDSAT/ETM+ foi obtida no dia 28/9/2000, às 12h48, correspondente à órbita/ponto 220/074, com resolução radiométrica de 8 bits e 30m de resolução espacial. Foram utilizadas três bandas do espectro eletromagnético (bandas 3, 4 e 5). A data de aquisição das duas imagens corresponde à época em que os cafezais estão na fase de florescimento.

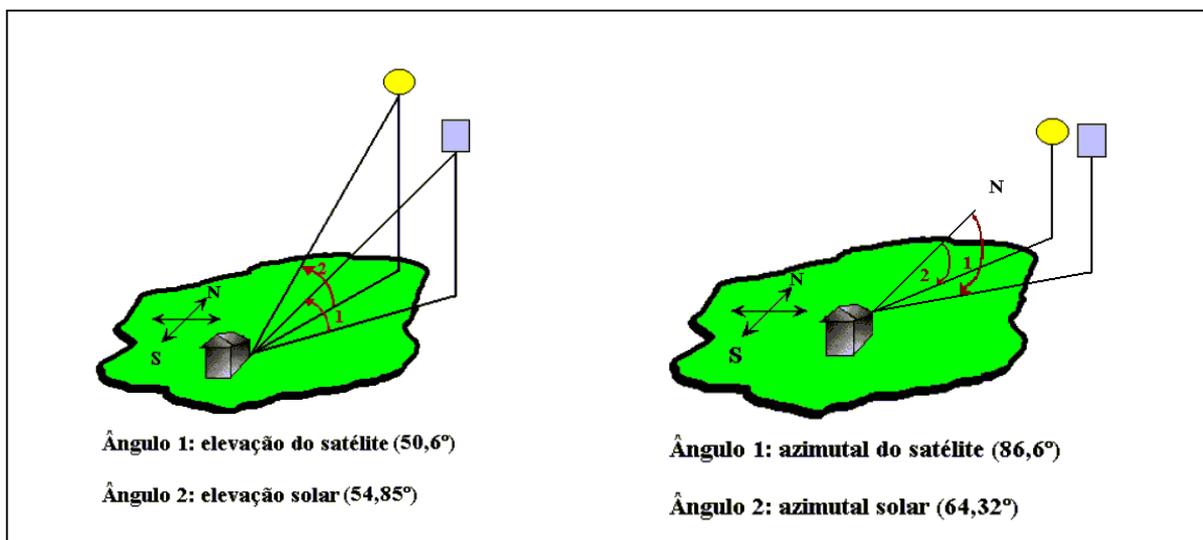


Figura 4: Esquema da geometria de iluminação e de observação do satélite IKONOS-II.

3.2. Métodos

O método utilizado neste trabalho baseia-se na determinação das similaridades e diferenças entre plantios de café, definidos através das propriedades levantadas em campo, e sua confirmação, ou não, nas imagens dos satélites IKONOS-II e LANDSAT/ETM+. Foram realizadas análises para determinar o peso e a influência das propriedades levantadas em campo nas diferenças e similaridades espectrais registradas pelas imagens.

O objetivo da análise das médias das reflectâncias dos talhões selecionados em campo foi calcular a porcentagem de pares de talhões semelhantes em campo e diferentes nas imagens, semelhantes nas imagens e diferentes no campo e semelhantes no campo e nas imagens. Para a imagem do IKONOS-II foram avaliadas a melhoria visual das correções atmosférica e radiométrica.

A avaliação da correlação existente entre os parâmetros culturais e a resposta espectral do cafeeiro tem como objetivo o entendimento da relação entre os parâmetros levantados em campo e as respostas espectrais da cultura. A determinação da correlação entre as bandas espectrais estudadas também foi realizada. Segundo LEONARDI (1990), esta análise é um passo importante na seleção das melhores bandas visando a discriminação de culturas agrícolas, pois as bandas que contêm informações redundantes possuem alta correlação entre si.

A metodologia utilizada para analisar as imagens dos satélites pode ser resumida através do fluxograma apresentado na Figura 5.

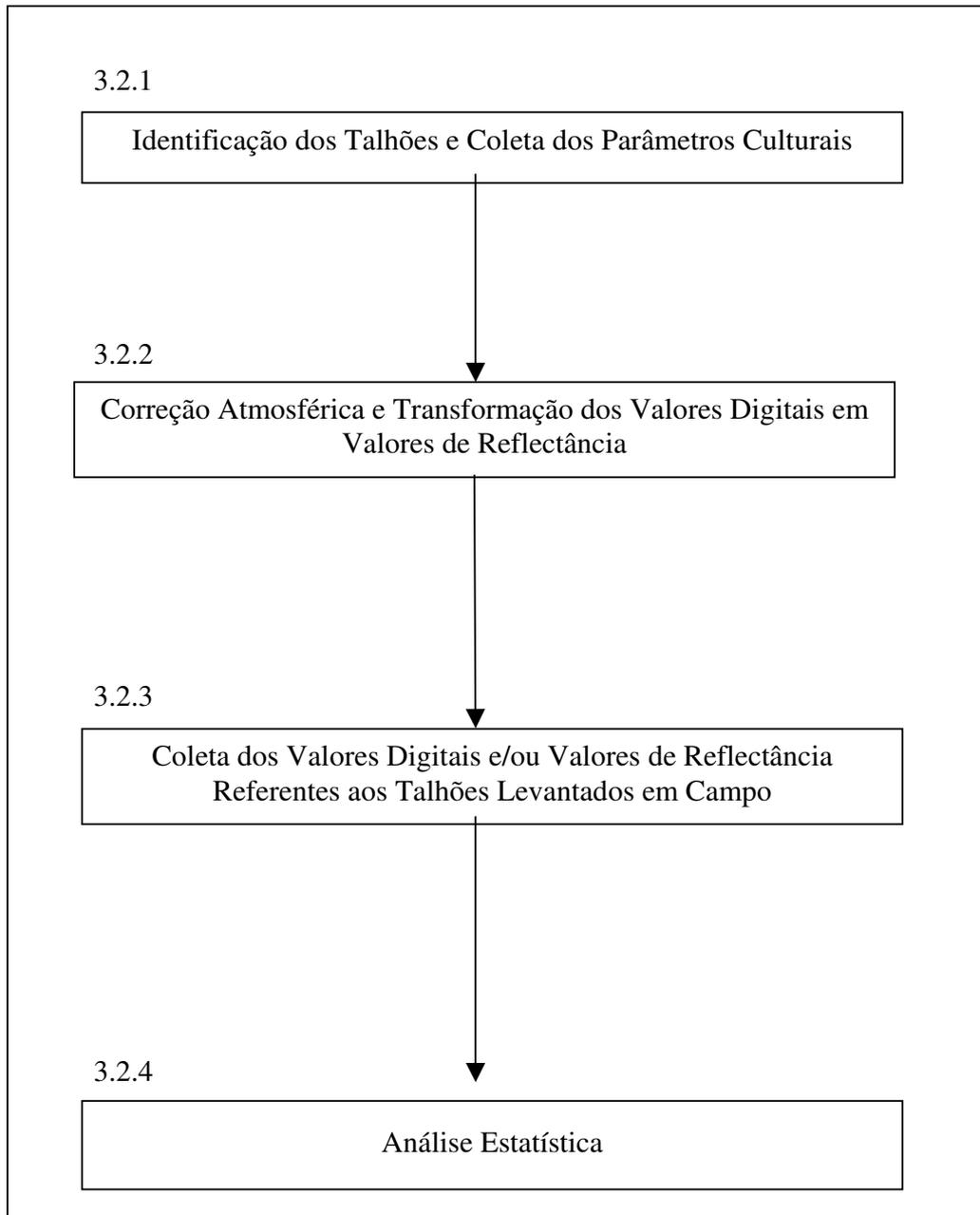


Figura 5: Fluxograma dos passos metodológicos do trabalho.

3.2.1. Seleção dos Talhões e Coleta dos Parâmetros Culturais

A coleta dos parâmetros culturais foi realizada no período de 10/11/2000 a 12/11/2000, durante visita à Fazenda Taquari. Nos 50 talhões pré-selecionados foram coletadas as seguintes informações: altura, idade, variedade e espaçamento (entre linhas e entre covas).

Os dados referentes à variedade e idade das plantas foram obtidos através da consulta aos registros do produtor e com o técnico agrícola responsável pela propriedade. Os parâmetros altura e espaçamento foram obtidos através de medidas realizadas em campo. A altura média dos talhões foi determinada utilizando-se 15 plantas por talhão. Esse número de plantas amostradas por talhão baseia-se no levantamento realizado por LEONARDI (1990), com o qual se determinou o diâmetro médio de plantas de café por talhão.

Os parâmetros idade, espaçamento e altura foram agrupados em classes, de acordo com suas características. Segundo SPIEGEL (1977), o fato de se trabalhar com dados agrupados tornam mais claras e evidentes as relações essenciais entre os mesmos.

A altura foi agrupada em quatro classes, com diferença de 1m entre elas, sendo que o limite inferior e superior foram obtidos de acordo com a menor e maior altura de plantas encontradas nos talhões analisados:

- classe 1: 0 a 1m
- classe 2: 1m a 2m
- classe 3: 2m a 3m
- classe 4: 3m a 4m

A idade também foi agrupada em quatro classes, com amplitude de 1 ano entre elas:

- 0 a 1 ano
- 2 a 3 anos
- 4 a 5 anos
- > 5 anos

Os espaçamentos foram agrupados em duas classes, considerando, para tanto, somente o espaçamento entre linhas:

- classe1: 4x2,5m; 4x2m; 4x1,5m; 4x1m; 4x0,75m; 3,8x1m; 3,8x0,75m
- classe2: 2x1m; 2x0,75m; 2,5x0,75m

Esses parâmetros compreendem todos os espaçamentos existentes nos 50 talhões levantados em campo.

As variedades existentes nos talhões são: Mundo Novo (MN), Catuaí (C), Icatu (I), Iapar (Iap), Obatã (O) e Acaiá (A).

A identificação dos talhões seguiu os nomes dados pelo proprietário da fazenda para facilitar a comunicação com o mesmo. Somente os talhões 11 e 33 foram divididos, pois era possível observar visualmente grande diferença de tonalidade na imagem do IKONOS-II. Portanto, o talhão 11 ficou dividido em 11a, 11b e 11c; já o talhão 33, em 33 e 33d.

A Tabela 3 apresenta os dados coletados em campo após organização e agrupamento em classes. A Figura 6 apresenta a imagem do canal pancromático do IKONOS-II correspondente à área da Fazenda Taquari, enquanto que nas Figuras 7, 8 e 9 pode ser observada a localização dos 50 talhões identificados na propriedade.

Tabela 3: Característica dos talhões levantados em campo, agrupados em classes.

Talhão	Variedade	Espaçamento	Altura	Idade
17	MN	1	2	2
47	MN	1	2	3
12	MN	1	2	4
31	MN	1	2	4
33	MN	1	2	4
33D	MN	1	2	4
35	MN	1	2	4
5	MN	1	2	4
2	MN	1	2	4
14	MN	1	3	4
18	MN	1	3	4
19	MN	1	3	4
21	MN	1	3	4
29	MN	1	3	4
30	MN	1	3	4
32	MN	1	3	4
43	MN	1	3	4
50	MN	1	3	4
51	MN	1	3	3
6A	MN	1	3	4
7	MN	1	3	4
11A	MN	1	4	4
11B	MN	1	4	4
11C	MN	1	4	4
15	MN	2	2	3
9	MN	2	3	3
10B	C	1	2	2
10C	C	1	2	2
3	C	1	2	2
49	C	1	2	4
6B	C	1	3	4
34	C	1	4	4
8	C	2	2	3
42	C	2	2	4
1	C	2	2	4
4	I	1	2	3
22	I	1	2	2
28	I	1	1	1
48	I	1	1	1
53	I	1	1	1
6	I	1	3	4
36	I	2	3	4
45	I	2	2	2
27	O	1	2	2
10A	O	1	2	2
13	Iap	1	2	2
24	Iap	1	2	2
52	Iap	1	2	4
25	A	1	3	4
16	A	1	3	4

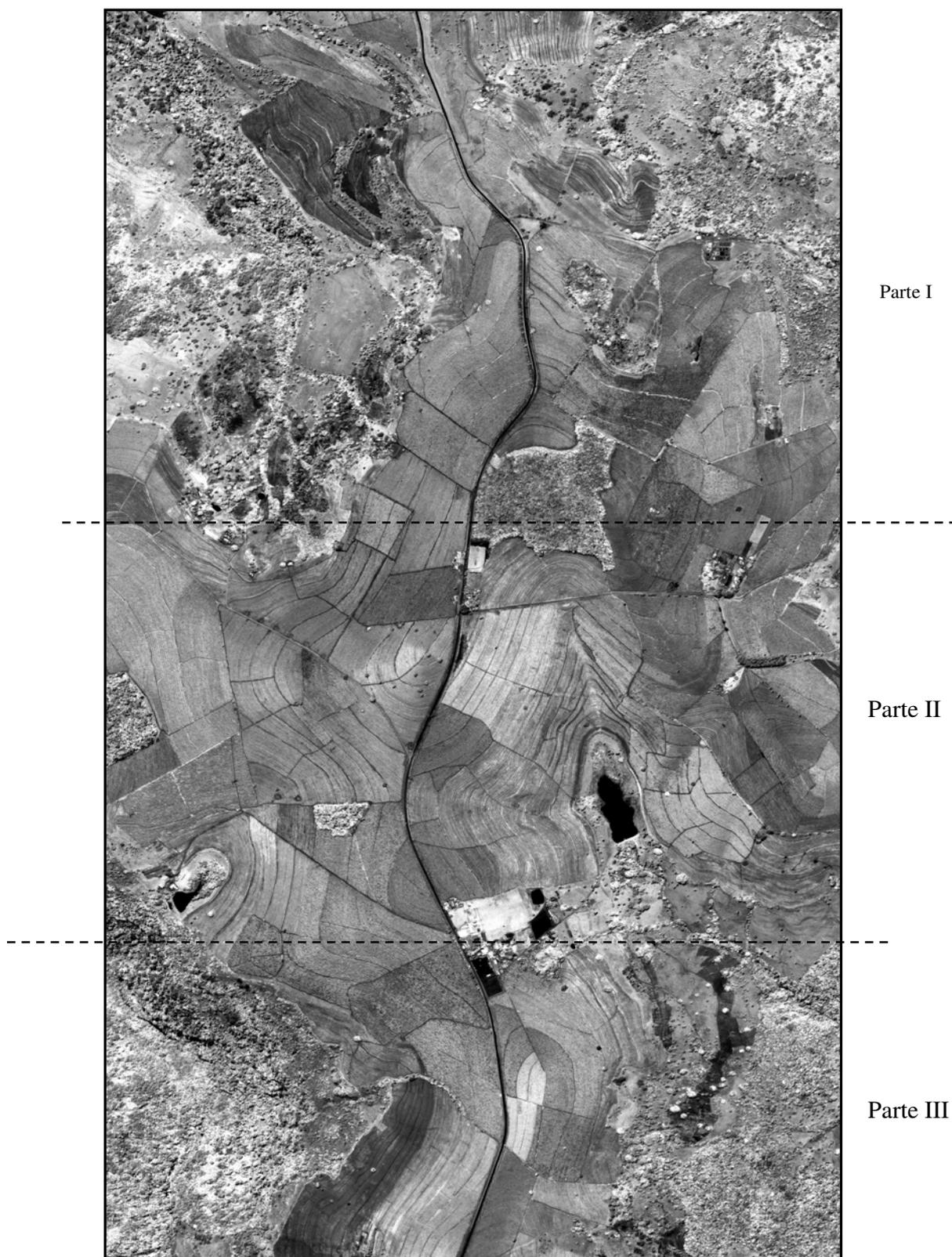


Figura 6: Imagem do canal pancromático do IKONOS-II correspondente à Fazenda Taquari

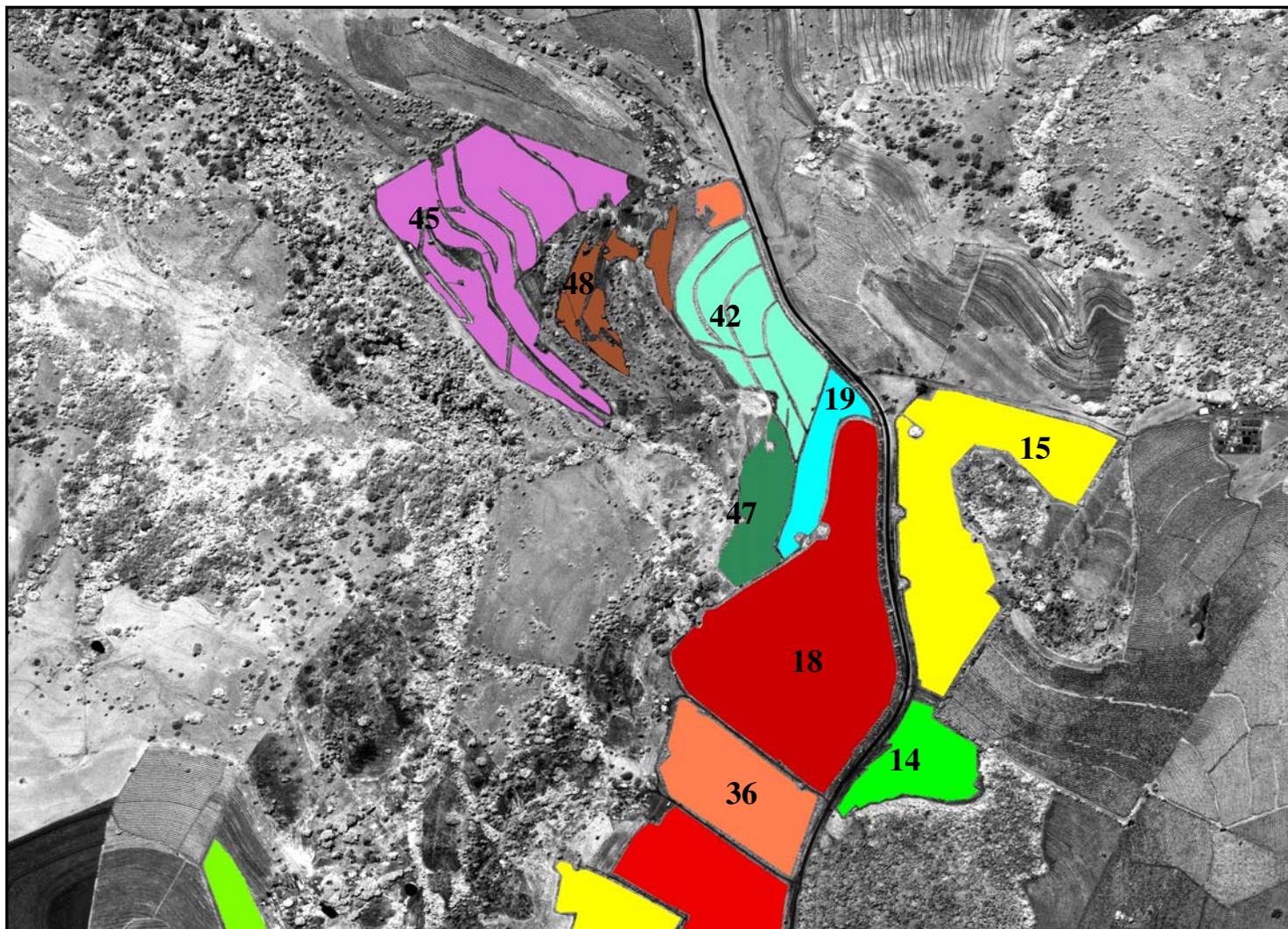


Figura 7: Localização dos talhões na Fazenda Taquari – Parte I.

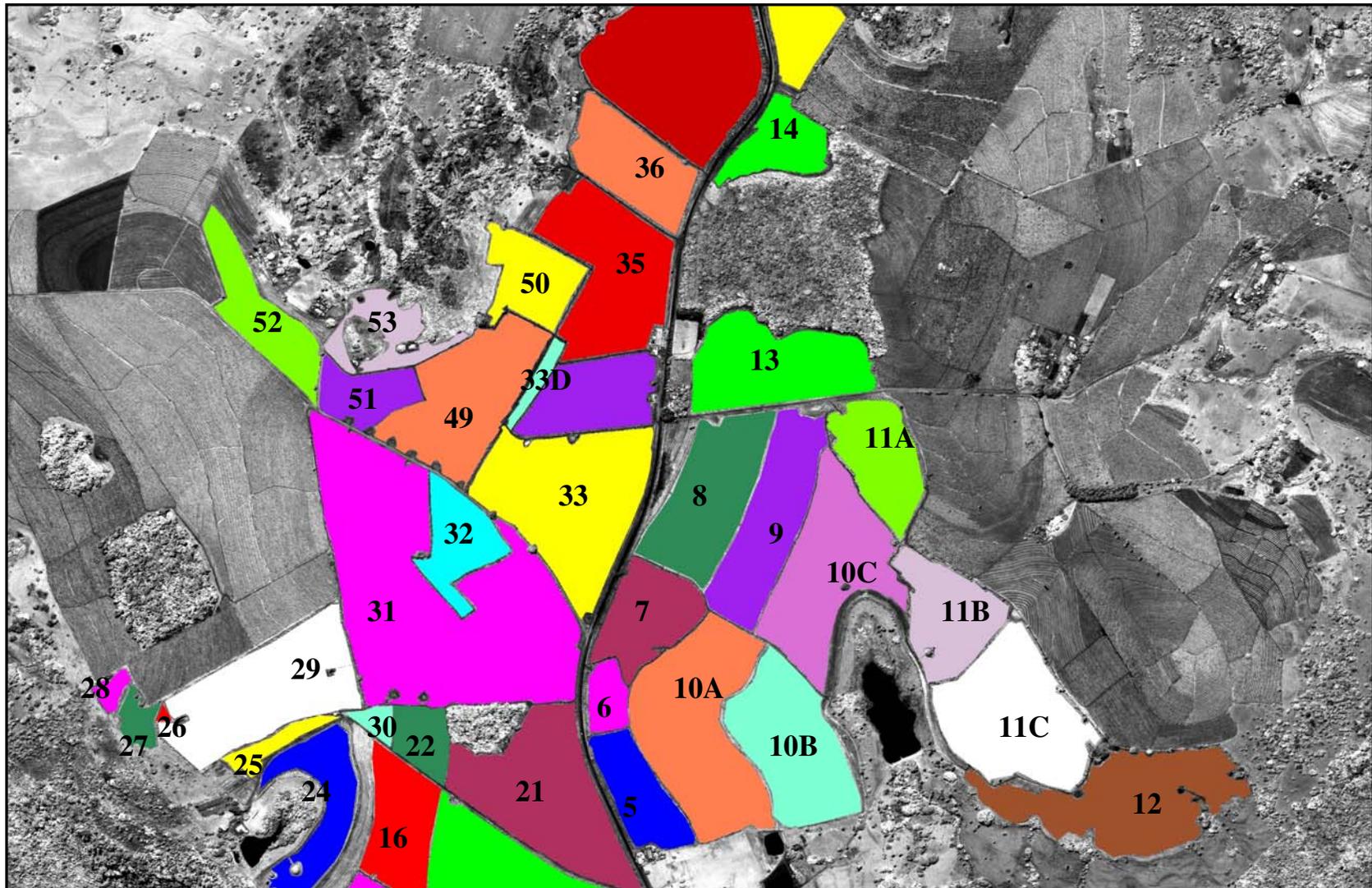


Figura 8: Localização dos talhões na Fazenda Taquari – Parte II



Figura 9: Localização dos talhões na Fazenda Taquari – Parte III

3.2.2. Correção atmosférica e transformação dos valores digitais para valores de reflectância

Para a correção radiométrica e atmosférica, utilizou-se o sistema computacional SCORADIS (Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite), desenvolvido por ZULLO JR (1994). Este sistema baseia-se na teoria dos parâmetros atmosféricos calculados pelo Modelo 5S (TANRÉ et al., 1990). Ele permite a obtenção final de imagens com correções radiométrica e atmosférica. Inicialmente, esse sistema foi desenvolvido para corrigir imagens do LANDSAT/TM e do NOAA/AVHRR; posteriormente foi adaptado para corrigir imagens do LANDSAT/ETM+ e do IKONOS-II.

A imagem adquirida já possuía informações geográficas, com datum de referência de WGS-84, zona 23S, e tamanho de cena inteira com 8.440 colunas por 8.388 linhas. No caso da imagem LANDSAT/ETM+, foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5, sendo que a correção foi realizada na cena bruta e inteira, com 6.920 colunas por 5.960 linhas.

Os dados de entrada no sistema SCORADIS foram os seguintes:

- Dados atmosféricos

Ângulos zenital e azimutal do sol, ângulos zenital e azimutal de visada, hora, dia, mês e ano de aquisição da imagem; longitude e latitude do centro da cena inteira, modelo atmosférico dos gases; modelo, concentração e espessura ótica dos aerossóis; banda espectral; nome da imagem; número de linhas e colunas e nome da imagem de saída.

Para a correção das imagens dos dois satélites foi usado o valor 0,3 para a espessura ótica dos aerossóis, por ser um valor médio para a época de aquisição das imagens e por não ter sido possível a obtenção deste valor em campo, já que não era possível saber com exatidão a data em que o IKONOS-II passaria sobre a área. O modelo atmosférico dos gases foi o tropical e o dos aerossóis foi o continental.

3.2.3. Coleta dos valores digitais e/ou valores de reflectância referentes aos talhões levantados em campo

As imagens corrigidas do IKONOS-II e do LANDSAT/ETM+ foram recortadas, deixando-se somente a área do retângulo que envolve a Fazenda Taquari. Posteriormente, coletou-se o valor digital da imagem pancromática do satélite IKONOS-II. Os valores de reflectância real foram coletados tanto para o canal pancromático do IKONOS-II como para as bandas 3, 4 e 5 do LANDSAT/ETM+. Os sistemas de tratamento de imagens digitais ENVI 3.4 e 3.5 (ENVI, 2000) foram utilizados para a extração desses valores.

Os 50 talhões levantados em campo foram identificados e selecionados primeiramente na imagem do IKONOS-II. A seleção dos talhões foi realizada deixando-se um pixel como borda para evitar a influência dos pixels vizinhos. Não ocorreu amostragem de pixels, mas, sim, a seleção de todos os pixels que compunham cada talhão, excluindo-se somente os pixels da borda.

Para selecionar de maneira automática os talhões na imagem do LANDSAT/ETM+, foi necessário o georreferenciamento desta imagem, baseado na imagem do IKONOS-II. O georreferenciamento foi realizado a partir da escolha da imagem base (imagem que fornece as informações geográficas, ou seja, a do IKONOS-II) e da imagem a ser corrigida (LANDSAT/ETM+). Foram identificados os pontos de controle localizados nas duas imagens, sendo que a partir desses pontos corrigiu-se a imagem do LANDSAT/ETM+. O erro gerado pela correção (RMS) foi de 0,48 pixels e para a re-amostragem por interpolação foi utilizado o método do vizinho mais próximo. Segundo CRÓSTA (1993), o método do vizinho mais próximo tem como vantagens a rapidez de computação e a preservação dos valores digitais originais da imagem.

A Figura 10 apresenta os pontos de controle e a tabela com os valores de RMS para cada um deles.

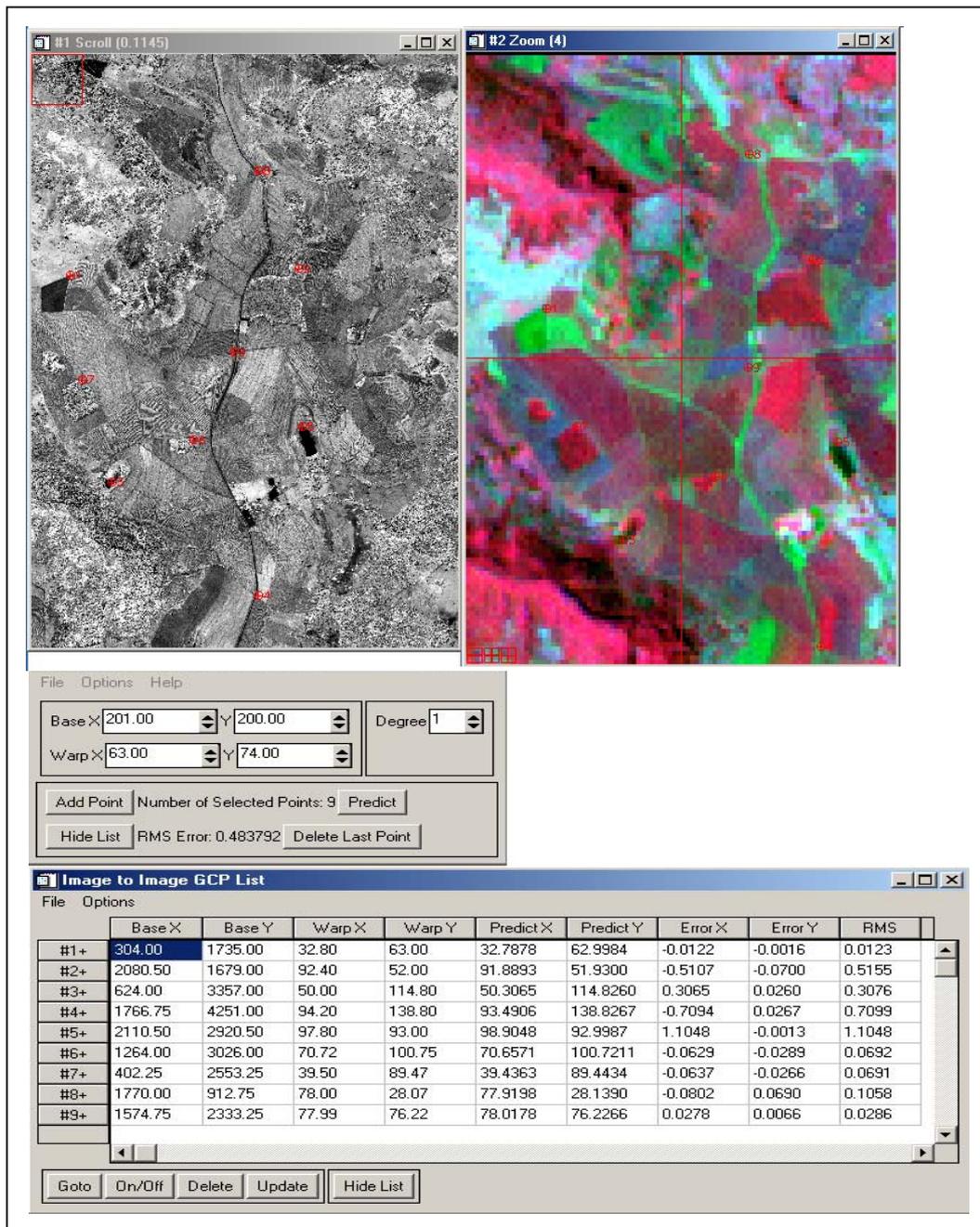


Figura 10: Esquema da correção geométrica da imagem do LANDSAT/ETM+

A partir da localização exata dos talhões na imagem LANDSAT/ETM+ excluiu-se os pixels mais externos (1 pixel de toda a borda), evitando assim a influência dos pixels vizinhos. Foram considerados os talhões que, após a eliminação da borda, continham no mínimo 10 pixels. Segundo LEONARDI (1990), esse valor é suficiente para representar o dossel cafeeiro.

Após a seleção dos talhões nas duas imagens, os valores dos pixels que compunham cada talhão foram exportados para um programa estatístico para a análise dos mesmos.

3.2.4. Análise Estatística

3.2.4.1. Teste de comparação de médias

A primeira análise utilizada para avaliar os dados das imagens dos dois satélites foi o teste de Tukey para variáveis independentes. Segundo PIMENTEL-GOMES (1984), para se ter uma informação mais detalhada sobre as médias e poder compará-las duas a duas de todos os modos possíveis, o teste (ou prova) mais apropriado, e talvez o melhor, é o teste ou prova de Tukey. Vários autores têm utilizado esse teste para analisar dados de sensoriamento remoto, entre eles: JOAQUIM (1998), que por meio da análise das médias dos níveis de cinza de imagens do LANDSAT/TM conseguiu diferenciar variedades de cana-de-açúcar.

Para o presente estudo, cada talhão foi considerado como uma variável independente, havendo portanto a comparação entre as médias de pares de talhões. Para análise das médias, o nível de significância foi de 5%, levando-se em consideração a diferença no número de pixels levantados em cada talhão.

Após a comparação das médias em pares de talhões, foram realizados alguns cálculos para avaliar as imagens do IKONOS-II e do LANDSAT/ETM+:

1^o) Calculou-se a porcentagem de pares de talhões que possuem características diferentes no campo e comparou-se com os pares de talhões que possuem diferença estatística significativa entre suas médias;

2^o) Calculou-se a porcentagem de pares de talhões que possuem características diferentes no campo e comparou-se com os pares de talhões que não possuem diferença estatística significativa entre suas médias;

3º) Calculou-se a porcentagem de pares de talhões com características iguais no campo e comparou-se com os pares de talhões que não possuem diferença estatística significativa entre suas médias;

4º) Calculou-se a porcentagem de pares de talhões com características iguais no campo e comparou-se com os pares de talhões que possuem diferença estatística significativa entre suas médias.

3.2.4.2. Análise de Correlação

Para a realização da análise de correlação, foram utilizados os parâmetros da cultura levantados em campo: as bandas 3, 4 e 5 do LANDSAT/ETM+ (com valor de reflectância) e a imagem pancromática do IKONOS (com valor de reflectância).

Foram utilizados todos os talhões identificados na imagem LANDSAT/ETM+ e os dados de campo sem agrupamento. Para se determinar o valor do espaçamento multiplicou-se o espaçamento entre linhas pelo espaçamento entre plantas. Na Tabela 4 encontram-se os dados utilizados na correlação.

Tabela 4: Talhões levantados em campo, valores de reflectância encontrados nas imagens e valores de espaçamento (ESP), altura (ALT) e idade.

Talhão	ESP (m²)	ALT (m)	Idade (anos)	B3 (%)	B4 (%)	B5 (%)	Ikonos (%)
11A	4	4	20	2,4	16,5	16	19,2
11B	4	4	20	2,5	15,8	16,1	18,1
11C	4	4	20	1,9	17,8	14,5	20,2
12	3	2	6	4,6	16,8	18,2	17,2
14	4	2,9	30	4,6	16,6	20,6	16,7
15	2	1,6	4	3,6	20,0	18,1	19,3
17	3	2	3	4,7	14,8	17,4	17,1
18	10	2,7	30	3,6	19,6	18,3	18,7
21	10	3	30	3,4	17,5	17,1	18,2
29	10	3	26	3,8	18,8	19,1	17,9
31	6	2	6	3,1	16,7	15,0	18,6
33	3	2	6	3,3	18,1	16,2	19,1
35	3	2	6	3,6	17,1	17,1	18,3
47	3	2	5	3,7	16,6	17,0	17,6
50	8	2,2	30	3,4	17,2	18,6	18,7
5	4	1,5	12	5,4	15,3	19,7	17,3
6A	10	2,2	30	2,9	17,9	16,1	19,2
7	4	2,2	12	5,0	17,1	21,1	16,5
9	1,875	2,5	4	2,2	23,4	16,3	20,5
2	10	1,5	25	3,2	18,3	17,6	18,8
10A	3	1,2	3	4,8	17,9	20,7	18,4
10B	3	1,2	3	4,3	19,4	18,9	18,8
10C	3	1,2	3	5,1	18,0	18,1	18,2
13	3	1,5	3	4,8	19,3	21,8	18,2
16	3	2,5	6	3,1	17,3	15,3	20,0
24	3	1,5	3	4,5	18,0	18,5	18,7
34	8	3,5	30	4,3	14,8	22,4	15,9
36	1,875	3	25	3,2	17,2	18,7	18,1
4	3	1,5	4	5,0	19,4	19,9	19,4
42	1,5	2	6	2,7	20,9	17,1	20,0
45	1,875	1,5	2	6,5	12,3	16,9	15,2
49	3,8	2	6	5,4	16,7	18,7	17,2
6B	10	2,2	30	3,3	16,9	17,4	17,9
8	1,5	2	4	2,4	24,1	17,1	21,8

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise visual da imagem IKONOS-II e identificação dos talhões na imagem

A Figura 11 apresenta a imagem do IKONOS-II com e sem correção atmosférica e radiométrica.

(1)



(2)

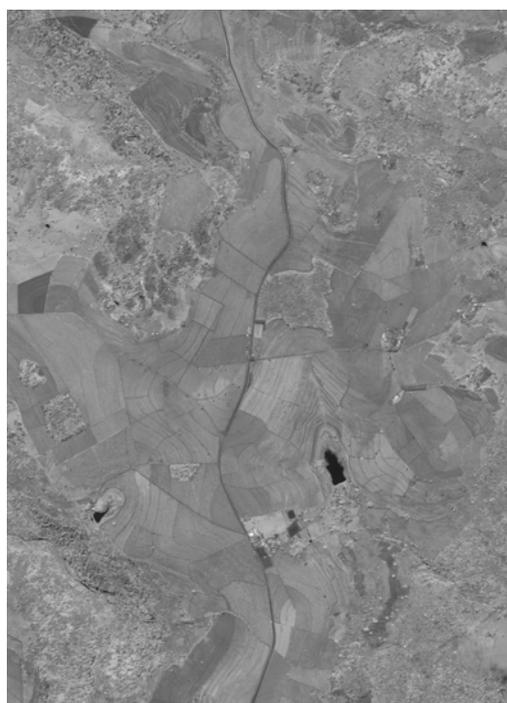


Figura 11: Imagem do IKONOS-II com correção atmosférica e radiométrica (1) e imagem sem correção (2).

Como exemplo, há, na Tabela 5, os valores de reflectância real e reflectância aparente registrados em um dos talhões da imagem com e sem correção, respectivamente.

Tabela 5: Valores de reflectância real e aparente registrados no talhão 22.

	Imagem de reflectância aparente	Imagem de reflectância real
Valor mínimo	11%	10%
Valor máximo	23%	25%
Valor médio	16%	16%
Desvio padrão	1%	2%

Todos os 50 talhões existentes na propriedade foram identificados na imagem do IKONOS-II. A imagem do LANDSAT/ETM+ utilizada para análise foi a imagem com correção atmosférica e radiométrica. Entre 50 talhões analisados na imagem do IKONOS-II foi possível localizar 34 talhões na imagem do LANDSAT/ETM+. Portanto 68% dos talhões existentes no levantamento foram identificados na imagem do LANDSAT/ETM+. Além do tamanho dos talhões, a outra característica que não permitiu a identificação destes talhões na imagem do LANDSAT/ETM+ foi a forma geométrica deles.

Os talhões não identificados na imagem LANDSAT/ETM+ e suas respectivas áreas encontram-se especificados na Tabela 6.

Tabela 6: Talhões não identificados na imagem do LANDSAT/ETM+ e suas áreas.

	Talhão															
	19	30	32	33D	43	51	1	3	22	28	48	53	6	52	25	27
Área(ha)	2,0	0,6	3,5	0,6	0,5	2,6	3,1	2,1	2,0	0,5	2,0	2,5	1,4	4,4	1,1	0,9

4.2. Avaliação da relação entre as propriedades levantadas em campo e os valores registrados nas imagens dos satélites

4.2.1. Imagem do IKONOS-II com valor de nível de cinza (11 bits)

Diante do resultado de que todos talhões levantados em campo foram identificados na imagem do IKONOS-II, constatou-se que existem 1.225 pares de combinações possíveis entre eles. A partir do agrupamento dos dados de campo verifica-se que 87 pares de talhões

possuem as mesmas características (variedade, espaçamento, idade e altura), podendo ser observados na Tabela 7. Concluiu-se ainda que 1.138 pares apresentam pelo menos uma característica diferente.

Tabela 7: Pares de talhões (87) com características similares no campo, segundo o agrupamento realizado.

11A-11B	14-43	19-30	29-43	32-50	50-6A
11A-11C	14-50	19-32	29-50	32-6A	50-7
11B-11C	14-6A	19-43	29-6A	32-7	5-2
12-31	14-7	19-50	29-7	33-33D	6A-7
12-33	18-19	19-6A	30-32	33-35	1-42
12-33D	18-21	19-7	30-43	33-5	10A-27
12-35	18-29	21-29	30-50	33-2	10B-10C
12-5	18-30	21-30	30-6A	33D-35	13-24
12-2	18-32	21-32	30-7	33D-5	16-25
14-18	18-43	21-43	31-33	33D-2	28-48
14-19	18-50	21-50	31-33D	35-5	28-53
14-21	18-6A	21-6A	31-35	35-2	48-53
14-29	18-7	21-7	31-5	43-50	
14-30	19-21	29-30	31-2	43-6A	
14-32	19-29	29-32	32-43	43-7	

Na Tabela 8 encontram-se os 18 pares de talhões cujas médias não possuem diferença significativa ao nível de 5% de significância. Destes 18 pares, somente 1 (18-50) possui todas as características levantadas em campo iguais (de acordo com o agrupamento realizado). Dentre os pares de talhões que não apresentaram diferença estatística significativa entre suas médias, o espaçamento foi a característica determinante, sendo o mesmo em 83,3% dos casos. Outros fatores, tais como: tipo de solo, inclinação e direção de superfície não foram considerados.

Tabela 8: Pares de talhões (18) na imagem, com valores de nível de cinza que não possuem diferença estatística ao nível de 5% de significância, e suas características levantadas em campo (de acordo com agrupamento realizado).

Pares de talhões sem diferença estatística entre suas médias	Características levantadas em campo			
	Altura	Variedade	Espaçamento	Idade
18-50	=	=	=	=
3-49	=	=	=	≠

continua

Continuação tabela8

Pares de talhões sem diferença estatística entre suas médias	Características levantadas em campo				
	Altura	Variedade	Espaçamento	Idade	
10C-13	=	≠	=	=	
10C-21	≠	≠	=	≠	
11B-6	≠	≠	=	=	
11B-36	≠	≠	≠	=	
12-17	=	=	=	≠	
13-21	≠	≠	=	≠	
14-33D	≠	=	=	=	
16-42	≠	≠	≠	=	
18-24	≠	≠	=	≠	
19-3	≠	≠	=	≠	
28-6B	≠	≠	=	≠	
33-43	≠	=	=	=	
33-52	=	≠	=	=	
36-6	=	=	≠	=	
43-52	≠	≠	=	=	
47-51	≠	=	=	=	
%	=	33.3	38.9	83.3	61.1
	≠	66.7	61.1	16.7	38.9

Símbolo (=) característica igual nos dois talhões e símbolo (≠) característica diferente.

De acordo com o resumo dos resultados apresentados na Figura 12, conclui-se que as diferenças observadas no campo entre pares de talhões foram detectadas em 98,5% dos casos, enquanto que as similaridades foram detectadas em 1,2% dos casos. As diferenças observadas nas imagens correspondem, em maior proporção, às diferenças existentes no campo.

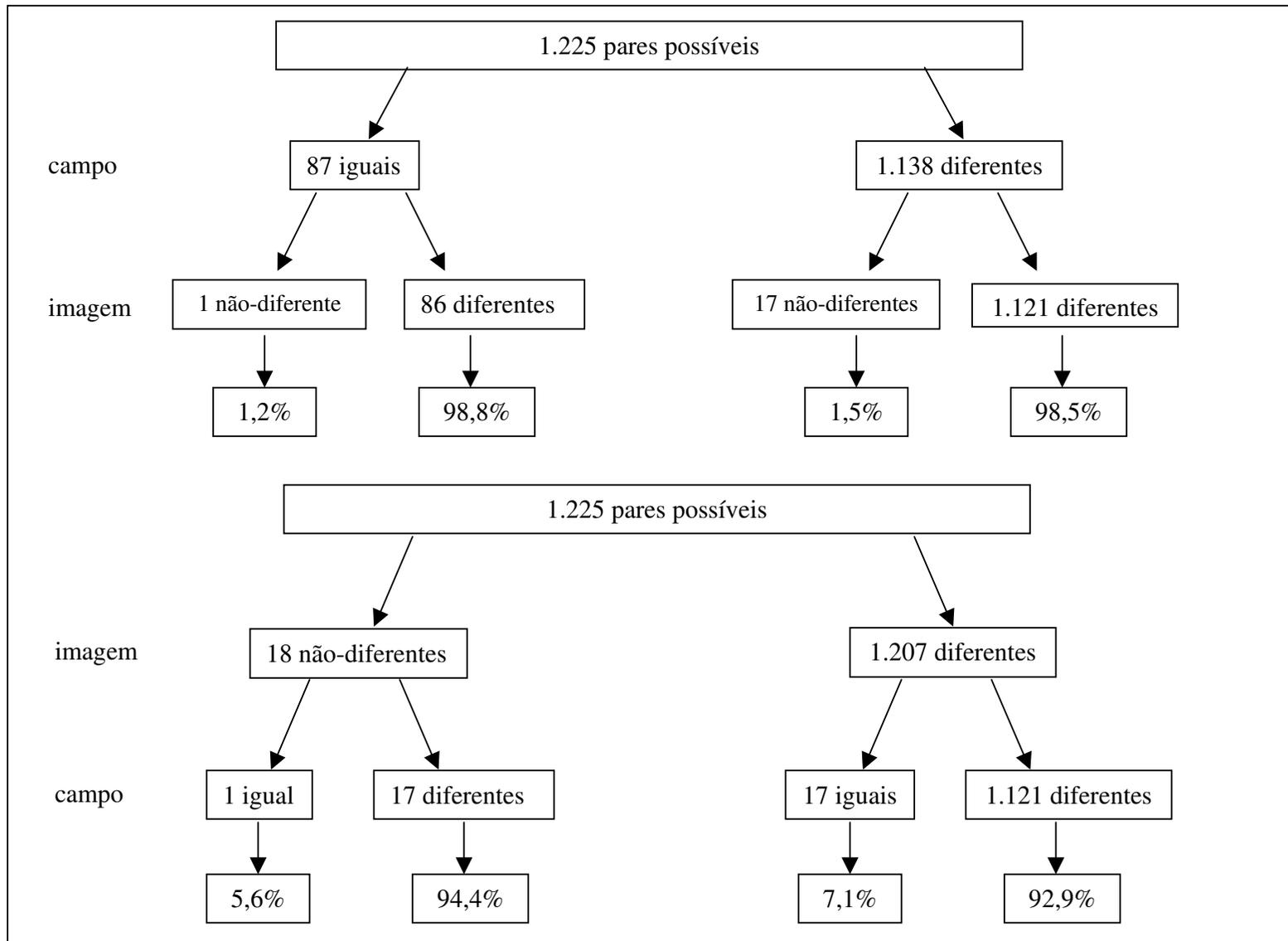


Figura 12: Esquema dos resultados da imagem do IKONOS-II com valor de nível de cinza.

4.2.2. Imagem do IKONOS-II com valor de reflectância

Na Tabela 9 encontram-se os 18 pares de talhões cujas médias não possuem diferenças ao nível de 5% de significância. Destes 18 pares, nenhum possui todas as características levantadas em campo iguais (de acordo com o agrupamento realizado). Dentre os pares de talhões que não apresentam diferença estatística significativa entre suas médias, a variável espaçamento é a que mais contribui para a não diferenciação dos mesmos (83,3% dos casos).

Tabela 9: Pares de talhões (18) com valores de reflectância que não possuem diferenças ao nível de 5% de significância e suas características levantadas em campo (de acordo com o agrupamento realizado).

Pares de talhões sem diferença estatística entre suas médias	Características levantadas em campo			
	Altura	Variedade	Espaçamento	Idade
3-49	=	=	=	≠
10C-13	=	≠	=	=
10C-21	≠	≠	=	≠
11A-43	≠	=	=	=
11B-6	≠	≠	=	=
11B-36	≠	≠	≠	=
12-3	=	≠	=	≠
12-49	=	≠	=	=
13-21	≠	≠	=	≠
14-33D	≠	=	=	=
16-42	≠	≠	≠	=
18-24	≠	≠	=	≠
19-3	≠	≠	=	≠
33-43	≠	=	=	=
33-52	=	≠	=	=
36-6	=	=	≠	=
43-52	≠	≠	=	=
47-51	≠	=	=	=
%	=	33,3	33,3	83,3
	≠	66,7	66,7	16,7

Símbolo (=) característica igual nos dois talhões e símbolo (≠) característica diferente.

De acordo com o resumo dos resultados apresentados na Figura 13, as diferenças observadas no campo entre os pares de talhões são da ordem de 98,4% dos casos, enquanto que as similaridades não foram detectadas em nenhum caso. As diferenças observadas nas imagens correspondem, em maior proporção, às diferenças existentes no campo.

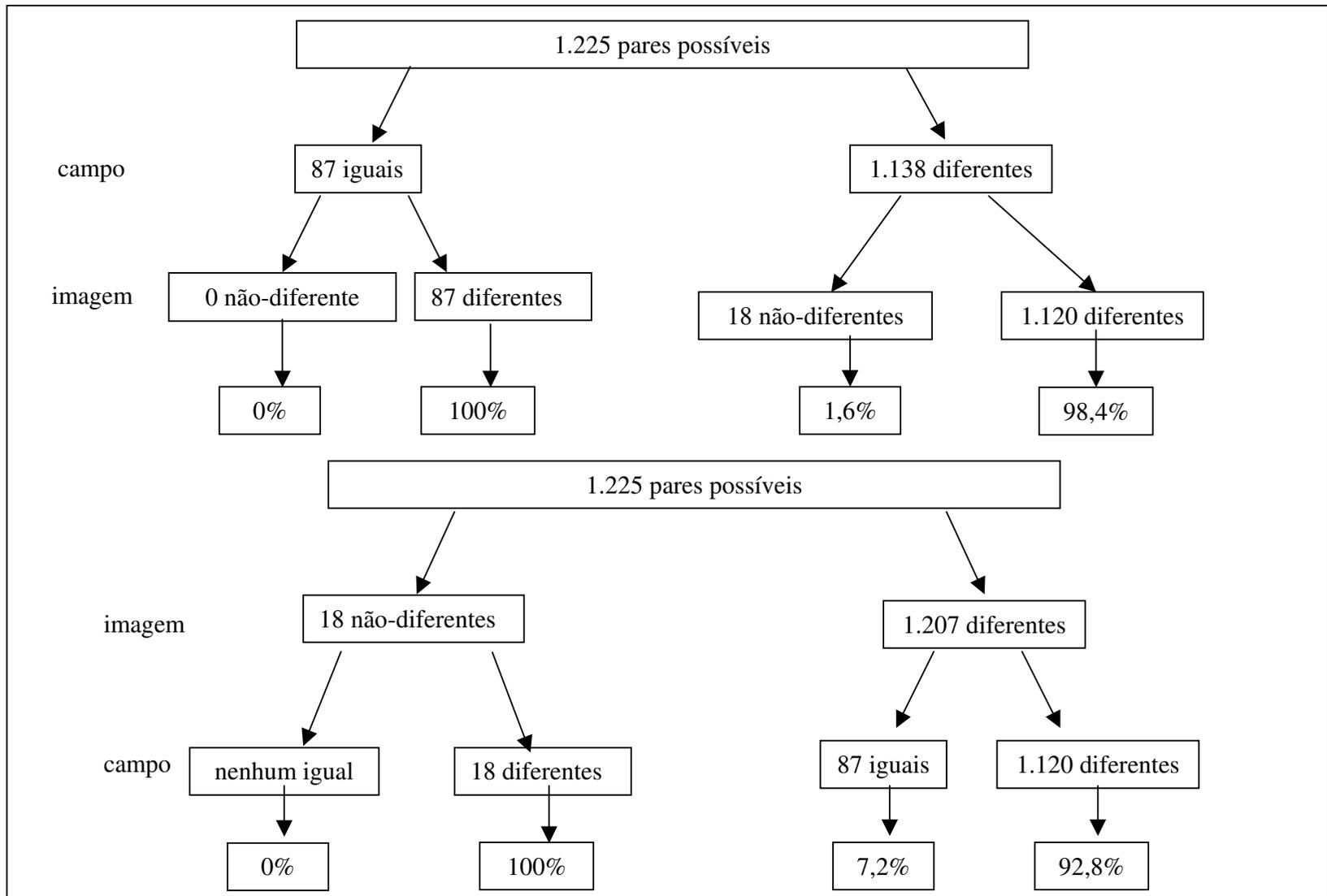


Figura 13: Esquema dos resultados da imagem do IKONOS-II com valor de reflectância.

4.2.3. Imagem LANDSAT/ETM+ com valor de reflectância

Com a identificação de 34 pares de talhões na imagem LANDSAT/ETM+, constatou-se que existem 561 combinações possíveis entre seus pares. A partir do agrupamento dos dados de campo, verifica-se que 41 pares de talhões possuem as mesmas características (variedade, espaçamento, idade e altura), podendo ser observados na Tabela 10. Nota-se ainda que existem 520 pares de talhões que apresentam pelo menos uma característica diferente.

Tabela 10: Pares de talhões (41) com características iguais no campo, segundo o agrupamento realizado.

10B-10C	12-33	14-29	18-50	21-7	2-35	33-5
11A-11B	12-35	14-50	18-6A	29-50	2-5	35-5
11A-11C	12-5	14-6A	18-7	29-6A	31-33	50-6A
11B-11C	13-24	14-7	21-29	29-7	31-35	50-7
12-2	14-18	18-21	21-50	2-31	31-5	6A-7
12-31	14-21	18-29	21-6A	2-33	33-35	

Na Tabela 11 encontram-se os 92 pares de talhões cujas médias não possuem diferenças significativas ao nível de 5% de significância. Destes 92 pares, 8 possuem todas as características, levantadas em campo, iguais (de acordo com o agrupamento realizado). Dentre os pares de talhões que não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre suas médias, o espaçamento foi a característica determinante, sendo o mesmo em 80,4% dos casos. Outros fatores, tais como: tipo de solo, inclinação e direção de superfície não foram considerados.

Tabela 11: Pares de talhões (92) da banda 3 do LANDSAT/ETM+, com valores de reflectância, que não possuem diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância e suas características levantadas em campo (de acordo com o agrupamento realizado).

Talhões sem diferença estatística	Características levantadas em campo			
	Altura	Variedade	Espaçamento	Idade
10A-10C	=	≠	=	=
10A-13	=	≠	=	=
10A-14	≠	≠	=	≠
10A-4	=	≠	=	≠

continua

Continuação da tabela 11.

Talhões sem diferença estatística	Características levantadas em campo			
	Altura	Variedade	Espaçamento	Idade
10A-7	≠	≠	=	≠
10B-14	≠	≠	=	≠
10B-24	=	≠	=	=
10B-34	≠	=	=	≠
10C-13	=	≠	=	=
10C-14	≠	≠	=	≠
10C-4	=	≠	=	≠
10C-49	=	=	=	≠
10C-5	=	≠	=	≠
10C-7	≠	≠	=	≠
11A-11B	=	=	=	=
11 ^A -42	≠	≠	≠	=
11 ^A -8	≠	≠	≠	≠
11A-9	≠	=	≠	≠
11B-42	≠	≠	≠	=
11B-8	≠	≠	≠	≠
12-13	=	≠	=	≠
12-14	≠	=	=	=
12-17	=	=	=	≠
12-24	=	≠	=	≠
12-4	=	≠	=	≠
12-7	≠	=	=	=
13-14	≠	≠	=	≠
13-17	=	≠	=	=
13-24	=	=	=	=
13-4	=	≠	=	≠
13-7	≠	≠	=	≠
14-17	≠	=	=	≠
14-24	≠	≠	=	≠
14-34	≠	≠	=	=
14-4	≠	≠	=	≠
14-7	=	=	=	=
15-18	≠	=	≠	≠
15-21	≠	=	≠	≠
15-33	=	=	≠	≠
15-35	=	=	≠	≠
15-47	=	=	≠	=
15-50	≠	=	≠	≠
16-2	≠	≠	=	≠

continua

Continuação da tabela 11.

Talhões sem diferença estatística	Características levantadas em campo			
	Altura	Variedade	Espaçamento	Idade
16-31	≠	≠	=	=
16-33	≠	≠	=	=
16-36	=	≠	≠	=
16-50	=	≠	=	=
16-6A	=	≠	=	=
16-6B	=	≠	=	=
17-24	=	≠	=	=
17-4	=	≠	=	≠
17-7	≠	=	=	≠
18-35	≠	=	=	=
18-47	≠	=	=	≠
18-50	=	=	=	=
21-2	≠	=	=	=
21-33	≠	=	=	=
21-35	≠	=	=	=
21-36	=	≠	≠	=
21-47	≠	=	=	≠
21-50	=	=	=	=
21-6B	=	≠	=	=
24-34	≠	≠	=	≠
24-4	=	=	=	≠
29-47	≠	=	=	≠
2-31	=	=	=	=
2-33	=	=	=	=
2-36	≠	≠	≠	=
2-47	=	=	=	≠
2-50	≠	=	=	=
2-6B	≠	≠	=	=
2-6A	≠	=	=	=
31-36	≠	≠	≠	=
33-35	=	=	=	=
33-36	≠	≠	≠	=
33-47	=	=	=	≠
33-50	≠	=	=	=
33-6B	≠	=	=	=
35-47	=	=	=	≠
35-50	≠	=	=	=
36-50	=	≠	≠	=
36-6B	=	≠	≠	=

continua

Continuação da tabela 11.

Talhões sem diferença estatística		Características levantadas em campo			
		Altura	Variedade	Espaçamento	Idade
4-49		≠	≠	=	≠
4-5		=	≠	=	≠
4-7		≠	≠	=	≠
42-8		=	=	=	≠
47-50		≠	=	=	≠
47-6B		≠	≠	=	=
49-5		=	≠	=	=
5-7		≠	=	=	=
50-6B		=	≠	=	=
8-9		≠	=	=	≠
%	=	46,7	45,6	80,4	53,2
	≠	53,3	54,4	19,6	46,8

De acordo com o resumo dos resultados apresentados na Figura 14, as diferenças observadas no campo entre os pares de talhões foram de 83,8% dos casos, enquanto que as similaridades foram detectadas em 19,5% dos casos. As diferenças observadas nas imagens correspondem, em maior proporção, às diferenças existentes no campo.

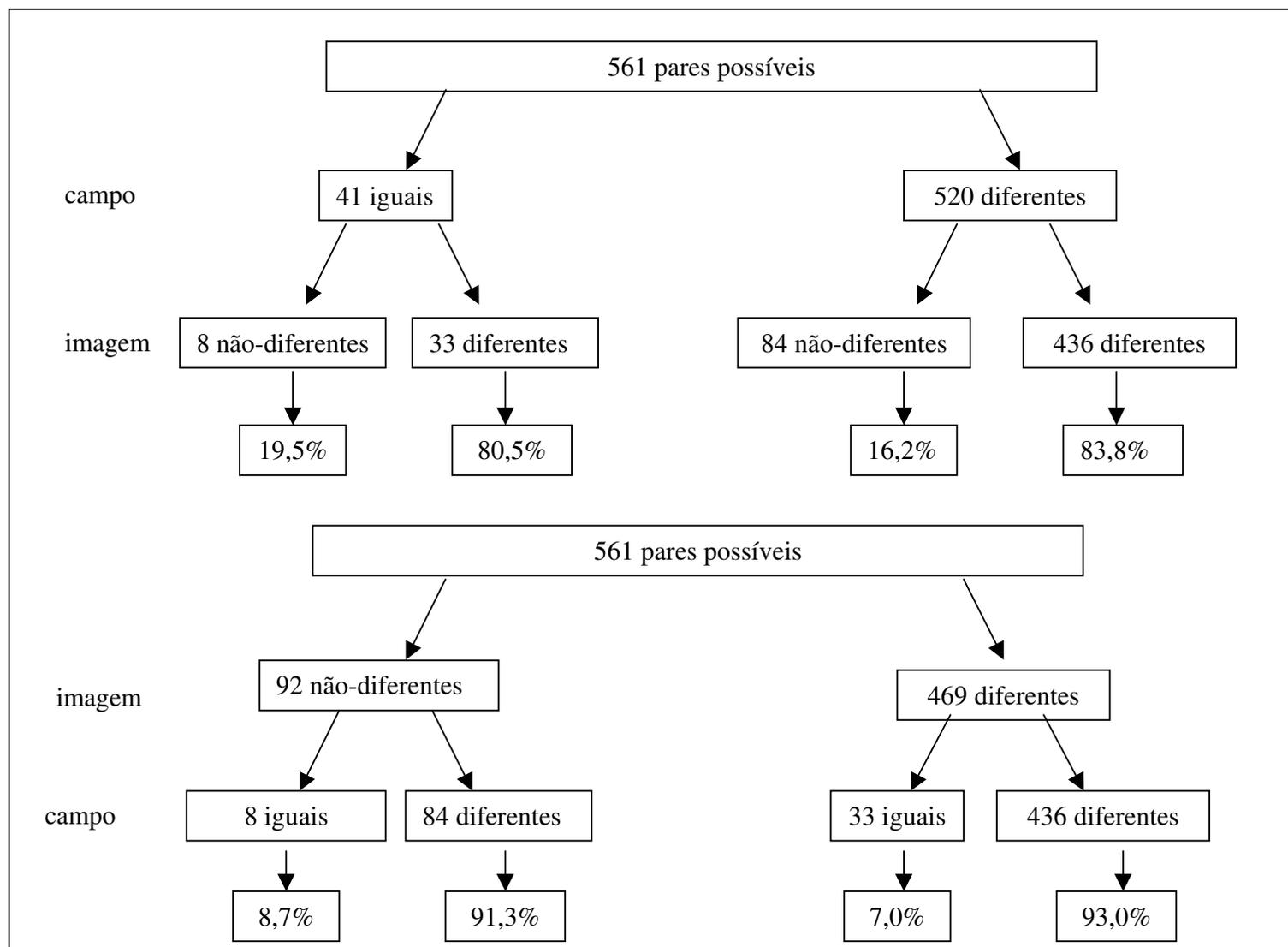


Figura 14: Esquema dos resultados da imagem do LANDSAT/ETM+ banda 3, com valor de reflectância

Na Tabela 12 encontram-se os 96 pares de talhões cujas médias não possuem diferenças significativas ao nível de 5% de significância. Destes 96 pares, 7 possuem todas as características, levantadas em campo, iguais (de acordo com o agrupamento realizado). Dentre os pares de talhões que não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre suas médias, o espaçamento foi a característica determinante, sendo o mesmo em 91,7% dos casos. Outros fatores, tais como: tipo de solo, inclinação e direção de superfície não foram considerados.

Tabela 12: Pares de talhões (96) da banda 4 do LANDSAT/ETM+, com valores de reflectância que não possuem diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância, e suas características levantadas em campo (de acordo com o agrupamento realizado).

Talhões sem diferença estatística	Características levantadas em campo			
	Altura	Variedade	Espaçamento	Idade
10A-10C	=	≠	=	=
10A-11C	≠	≠	=	≠
10A-16	≠	≠	=	≠
10A-21	≠	≠	=	≠
10A-24	=	≠	=	=
10A-2	=	≠	=	≠
10A-33	=	≠	=	≠
10A-50	≠	≠	=	≠
10A-6A	≠	≠	=	≠
10A-7	≠	≠	=	≠
10B-13	=	≠	=	≠
10B-18	≠	≠	=	≠
10B-2	=	≠	=	≠
10B-4	=	≠	=	≠
10C-11C	≠	≠	=	≠
10C-24	=	≠	=	=
10C-33	=	≠	=	≠
10C-50	≠	≠	=	≠
10C-6A	≠	≠	=	≠
11A-12	≠	=	=	=
11A-14	≠	=	=	=
11A-31	≠	=	=	=
11A-47	≠	=	=	≠

continua

Continuação da tabela 12.

Talhões sem diferença estatística	Características levantadas em campo			
	Altura	Variedade	Espaçamento	Idade
11A-49	≠	≠	=	=
11A-6B	≠	≠	=	=
11B-5	≠	=	=	=
11C-24	≠	≠	=	≠
11C-33	≠	=	=	=
11C-6 ^A	≠	=	=	=
12-14	≠	=	=	=
12-16	≠	≠	=	=
12-2	=	=	=	=
12-31	=	=	=	=
12-35	=	=	=	=
12-36	≠	≠	≠	=
12-47	=	=	=	≠
12-49	=	≠	=	=
12-50	≠	=	=	=
12-6B	≠	≠	=	=
12-7	≠	=	=	=
13-18	≠	≠	=	≠
13-2	=	≠	=	≠
13-4	=	=	=	≠
14-31	≠	=	=	=
14-47	≠	=	=	≠
14-49	≠	≠	=	=
14-6B	=	≠	=	=
15-2	=	=	≠	≠
16-21	=	≠	=	=
16-2	≠	≠	=	=
16-35	≠	≠	=	=
16-36	=	≠	≠	=
16-50	=	≠	=	=
16-6B	=	≠	=	=
16-7	=	≠	=	=
17-34	≠	≠	=	≠
17-5	=	=	=	≠
18-2	≠	=	=	=
18-4	≠	≠	=	≠
21-24	≠	≠	=	≠
21-2	≠	=	=	=
21-50	=	=	=	=

continua

Continuação da tabela 12.

Talhões sem diferença estatística	Características levantadas em campo				
	Altura	Variedade	Espaçamento	Idade	
21-7	=	=	=	=	
24-2	=	≠	=	≠	
24-33	=	≠	=	≠	
24-50	≠	≠	=	≠	
24-6A	≠	≠	=	≠	
2-35	=	=	=	=	
2-36	≠	≠	≠	=	
2-47	=	=	=	≠	
2-50	≠	=	=	=	
2-6B	≠	≠	=	=	
2-7	≠	=	=	=	
2-4	=	≠	=	≠	
31-47	=	=	=	≠	
31-49	=	≠	=	=	
31-6B	≠	≠	=	=	
33-6A	≠	=	=	=	
35-36	≠	≠	≠	=	
35-47	=	=	=	≠	
35-50	≠	=	=	=	
35-6B	≠	≠	=	=	
35-7	≠	=	=	=	
36-50	=	≠	≠	=	
36-6B	=	≠	≠	=	
36-7	=	≠	≠	=	
47-49	=	≠	=	≠	
47-50	≠	=	=	≠	
47-6B	≠	≠	=	≠	
47-7	≠	=	=	≠	
49-50	≠	≠	=	=	
49-6B	≠	=	=	=	
49-7	≠	≠	=	=	
50-6B	=	≠	=	=	
50-7	=	=	=	=	
6B-7	=	≠	=	=	
%	=	42,7	37,5	91,7	58,3
	≠	57,3	62,5	8,3	41,7

De acordo com o resumo dos resultados apresentados na Figura 15, as diferenças observadas no campo entre os pares de talhões foram de 82,9% dos casos, enquanto que as similaridades foram detectadas em 17,1% dos casos. As diferenças observadas nas imagens correspondem, em maior proporção, às diferenças existentes no campo.

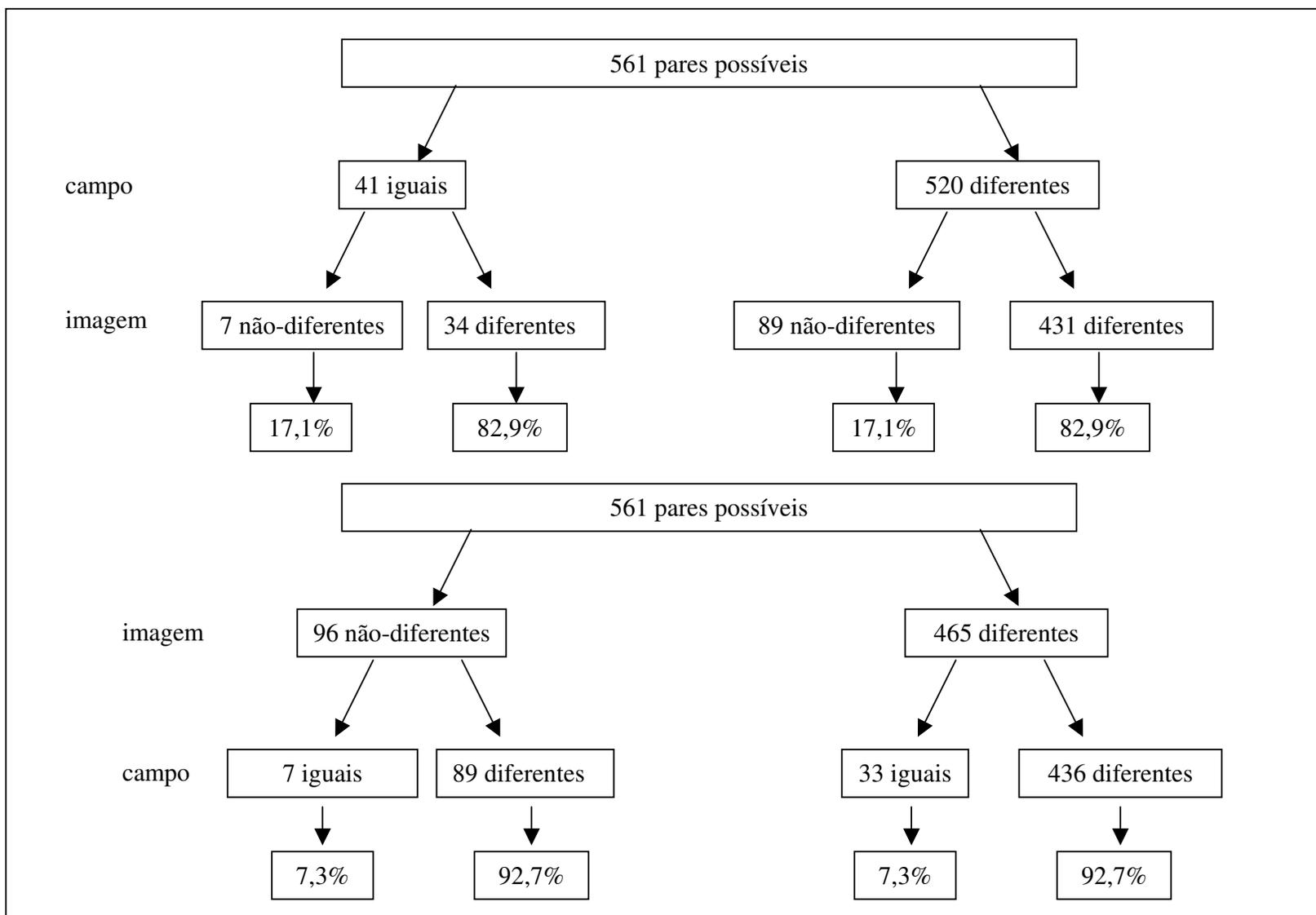


Figura 15: Esquema dos resultados da imagem do LANDSAT/ETM+ banda 4, com valor de reflectância.

Na Tabela 13 encontram-se os 81 pares de talhões cujas médias não possuem diferenças significativas ao nível de 5% de significância. Destes 81 pares, 5 possuem todas as características, levantadas em campo, iguais (de acordo com o agrupamento realizado). Dentre os pares de talhões que não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre suas médias, o espaçamento foi a característica determinante, sendo o mesmo em 65,4% dos casos. Outros fatores, tais como: tipo de solo, inclinação e direção de superfície não foram considerados.

Tabela 13: Pares de talhões (81) da banda 5 do LANDSAT/ETM+, com valores de reflectância que não possuem diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância, e suas características levantadas em campo (de acordo com o agrupamento realizado).

Pares de talhões sem diferença estatística	Características levantadas em campo			
	Altura	Variedade	Espaçamento	Idade
10A-14	≠	≠	=	≠
10A-5	=	≠	=	≠
10A-7	≠	≠	=	≠
10B-24	=	≠	=	=
10B-29	≠	≠	=	≠
10B-36	≠	≠	≠	≠
10B-49	=	=	=	≠
10B-5	=	≠	=	≠
10B-50	≠	≠	=	≠
10C-12	=	≠	=	≠
10C-15	=	≠	≠	≠
10C-18	≠	≠	=	≠
10C-24	=	≠	=	=
10C-2	=	≠	=	≠
10C-50	≠	≠	=	≠
11 ^A -11B	=	=	=	=
11A-33	≠	=	=	=
11A-6A	≠	=	=	=
11A-9	≠	=	≠	≠
11B-33	≠	=	=	=
11B-6A	≠	=	=	=
11B-9	≠	≠	=	≠
12-15	=	=	≠	≠

continua

Continuação da tabela 13.

Talhões sem diferença estatística	Características levantadas em campo			
	Altura	Variedade	Espaçamento	Idade
12-18	≠	=	=	=
12-24	=	≠	=	≠
12-49	=	≠	=	=
12-50	≠	=	=	=
14-4	≠	≠	=	≠
14-5	≠	=	=	=
14-7	=	=	=	=
15-18	≠	=	≠	≠
15-2	=	=	≠	≠
15-50	≠	=	≠	≠
16-31	≠	≠	=	=
17-21	≠	=	=	≠
17-2	=	=	=	≠
17-35	=	=	=	≠
17-42	=	≠	≠	≠
17-45	=	≠	≠	=
17-47	=	=	=	≠
17-6B	≠	≠	=	≠
17-8	=	≠	≠	≠
18-24	≠	≠	=	≠
18-50	=	=	=	=
21-2	≠	=	=	=
21-35	≠	=	=	=
21-45	≠	≠	≠	≠
21-47	≠	=	=	≠
21-6B	=	≠	=	=
21-8	≠	≠	≠	≠
24-36	≠	≠	≠	≠
24-49	=	≠	=	≠
24-50	≠	≠	=	≠
29-36	=	≠	≠	=
29-49	≠	≠	=	=
29-50	=	=	=	=
2-35	=	=	=	=
2-42	=	≠	≠	=
2-47	=	=	=	≠
2-6B	≠	≠	=	=
2-8	=	≠	≠	≠
33-6A	≠	=	=	=

continua

Continuação da tabela 13.

Talhões sem diferença estatística	Características levantadas em campo				
	Altura	Variedade	Espaçamento	Idade	
33-9	≠	=	≠	≠	
35-42	=	≠	≠	=	
35-45	=	≠	≠	≠	
35-47	=	=	=	≠	
35-6B	≠	≠	=	=	
35-8	=	≠	≠	≠	
36-49	≠	≠	≠	=	
36-50	=	≠	≠	=	
4-5	=	≠	=	≠	
42-45	=	≠	=	≠	
42-47	=	≠	≠	≠	
%	=	51,9	38,3	65,4	38,3
	≠	48,2	61,7	34,6	61,7

De acordo com o resumo dos resultados apresentados na Figura 16, as diferenças observadas no campo entre os pares de talhões foram de 85,4% dos casos, enquanto que as similaridades foram detectadas em 12,2% dos casos. As diferenças observadas nas imagens correspondem, em maior proporção, às diferenças existentes no campo.

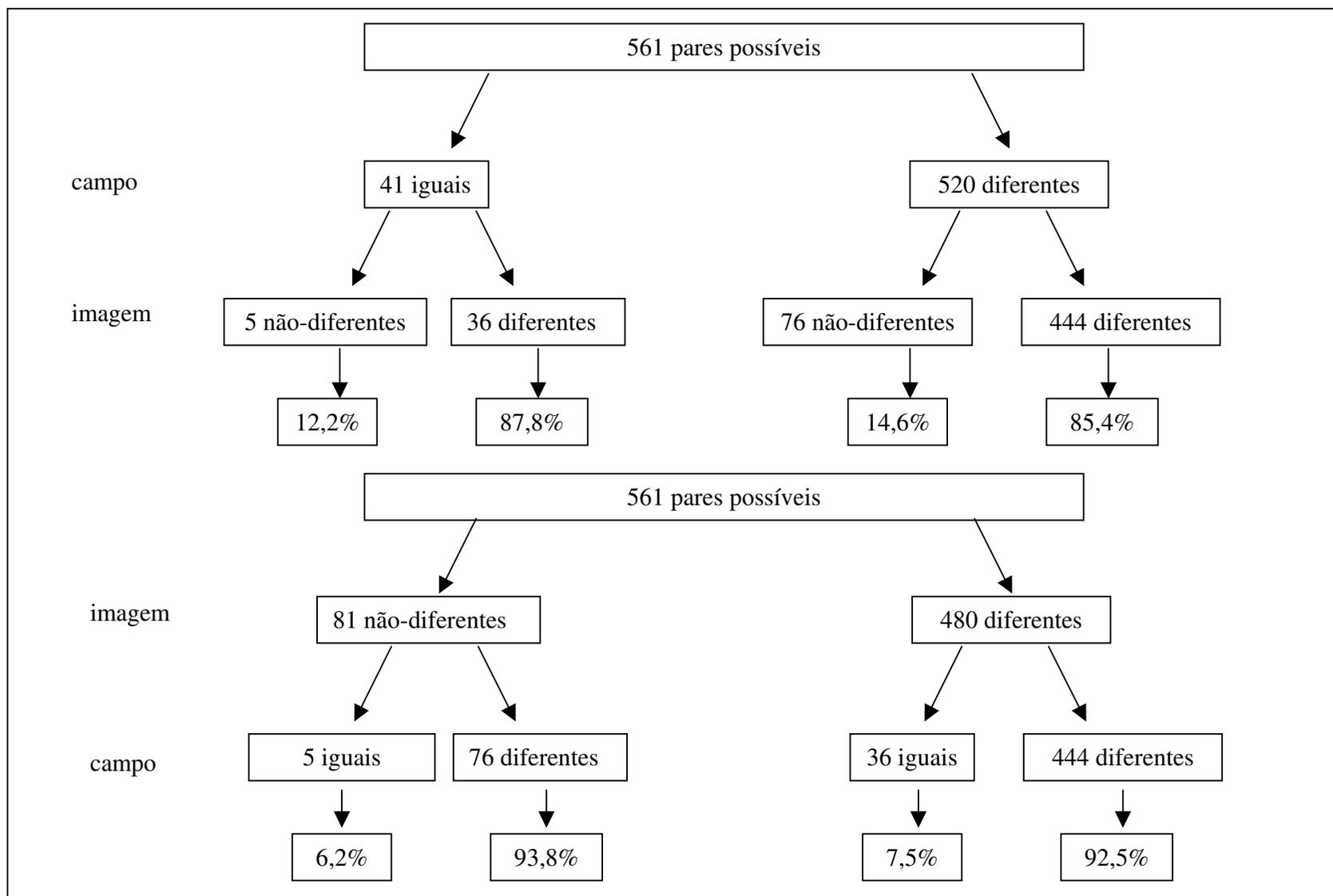


Figura 16: Esquema dos resultados da imagem do LANDSAT/ETM+ banda 5, com valor de reflectância.

4.3. Comparação entre os resultados das imagens do IKONOS-II e do LANDSAT/ETM+

Dos talhões sem diferenças estatísticas significativas entre suas médias, nas duas imagens foram calculadas as porcentagens em que cada uma das propriedades é a mesma nos dois talhões, conforme pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14: Porcentagem de talhões sem diferenças estatísticas entre suas médias, que estão na mesma classe, em cada uma das quatro variáveis levantadas em campo.

Imagem	Variedade	Espaçamento	%	
			Altura	Idade
IKONOS-II – reflectância	38,8	83,3	33,3	61,1
IKONOS-II – valor de nível de cinza	33,3	83,3	38,8	66,6
LANDSAT/ETM+ - Banda 3	45,6	80,4	46,7	53,2
LANDSAT/ETM+ - Banda 4	37,5	91,6	42,7	58,3
LANDSAT/ETM+ - Banda 5	38,2	65,4	51,8	38,3

De acordo com estes resultados, tem-se que o espaçamento é o parâmetro que mais influenciou na não-diferenciação estatística dos valores médios dos talhões, mesmo apresentando diferenças nos outros parâmetros de campo.

Na Tabela 15 encontram-se os resultados da análise que avaliou a porcentagem de pares de talhões diferentes no campo. Na imagem suas médias não possuem diferença estatística.

Tabela 15: Porcentagem de pares de talhões diferentes no campo, mas sem diferença estatística significativa entre suas médias na imagem.

Imagem	% de pares de talhões diferentes no campo e sem diferença estatística significativa entre suas médias
IKONOS-II - reflectância	1,6
IKONOS-II - valor de nível de cinza	1,5
LANDSAT/ETM+ - Banda 3	16,0
LANDSAT/ETM+ - Banda 4	17,0
LANDSAT/ETM+ - Banda 5	14,0

A porcentagem de talhões diferentes no campo, mas semelhantes na imagem, foi aproximadamente dez vezes maior nas bandas do LANDSAT/ETM+ que nas imagens do IKONOS-II.

Na Tabela 16 encontram-se os resultados da análise que avaliou a porcentagem de pares de talhões similares no campo (segundo os agrupamentos realizados), mas com médias estatisticamente diferentes na imagem.

Tabela 16: Porcentagem de pares de talhões similares no campo, que apresentaram diferenças estatísticas significativas entre suas médias na imagem.

Imagem	% de pares de talhões iguais no campo, mas estatisticamente diferentes na imagem
IKONOS-II - reflectância	100,0
IKONOS-II - valor de nível de cinza	98,8
LANDSAT/ETM+ - Banda 3	80,4
LANDSAT/ETM+ - Banda 4	82,9
LANDSAT/ETM+ - Banda 5	87,8

Certamente, outras propriedades importantes na obtenção de uma imagem de satélite, tais como: a porcentagem de cobertura do terreno, tipo de solo, declividade média dos talhões e orientação do declive, que não foram consideradas, influenciaram nestes resultados. Isto foi mais importante para a imagem do IKONOS-II, embora os valores das bandas do LANDSAT/ETM+ também tenham sido elevados.

Na Tabela 17 encontram-se as porcentagens de talhões similares em campo, segundo agrupamento realizado, cujas médias não possuem diferença estatística na imagem.

Tabela 17: Porcentagem de pares de talhões similar no campo, que não têm diferenças significativas entre suas médias, na imagem.

Imagem	% de pares de talhões similar no campo e sem diferença estatística entre suas médias na imagem
IKONOS-II – reflectância	0,0
IKONOS-II - valor de nível de cinza	1,1
LANDSAT/ETM+ - Banda 3	19,5
LANDSAT/ETM+ - Banda 4	17,0
LANDSAT/ETM+ - Banda 5	12,2

As considerações feitas para os resultados apresentados na Tabela 16 são válidas também para a Tabela 17.

Na Tabela 18 encontram-se as porcentagens de talhões diferentes em campo e com diferenças significativas entre suas médias (ao nível de 95% de probabilidade) na imagem.

Tabela 18: Porcentagem de pares de talhões diferentes no campo, que apresentaram diferenças estatísticas significativas entre suas médias na imagem.

Imagem	% de pares de talhões diferentes no campo e com diferença estatística entre suas médias na imagem
IKONOS-II – reflectância	98,0
IKONOS-II - valor de nível de cinza	98,0
LANDSAT/ETM+ - Banda 3	84,0
LANDSAT/ETM+ - Banda 4	84,4
LANDSAT/ETM+ - Banda 5	86,3

Quando se compara a imagem dos dois satélites verifica-se que o IKONOS-II possui um melhor desempenho na hora de avaliar talhões diferentes em campo.

A Tabela 19 contém um resumo das quatro tabelas anteriores.

Tabela 19: Porcentagem de pares de talhões similares no campo (=c) ou diferentes ($\neq c$), que apresentaram diferenças estatísticas significativas entre suas médias na imagem ($\neq i$), ou não (=i).

Imagem	$\neq c = i$	$= c \neq i$	$= c = i$	$\neq c \neq i$
	(%)			
IKONOS-II – reflectância	1,6	100,0	0,0	98,0
IKONOS-II - valor de nível de cinza	1,5	98,8	1,1	98,0
LANDSAT - Banda 3	16,0	80,4	19,5	84,0
LANDSAT - Banda 4	17,0	82,9	17,0	84,4
LANDSAT - Banda 5	14,0	87,8	12,2	86,3

Legenda: (=) similar, (\neq) diferente, (c) campo e (i) imagem.

De acordo com estes resultados, tem-se que a porcentagem dos pares de talhões diferentes no campo similares na imagem foi 10 vezes maior nas bandas do LANDSAT que no canal pancromático do IKONOS-II. A porcentagem que pares de talhões diferentes no campo também fossem diferentes na imagem foi da ordem de 14 a 15 pontos superior na imagem do IKONOS-II, em relação ao LANDSAT/ETM+. Esses resultados, certamente, estão diretamente relacionados com a melhoria da resolução espacial e radiométrica do IKONOS-II, em relação ao LANDSAT/ETM+.

Com base nos valores apresentados na parte inferior das Figuras 12 a 16, tem-se uma tabela (Tabela 20) semelhante à Tabela 19, considerando os totais de pares de talhões nas imagens antes que os totais de pares de talhões no campo.

Tabela 20: Porcentagem de pares de talhões que apresentaram diferenças estatísticas significativas entre suas médias na imagem ($\neq i$), ou não (=i), e que são similares no campo (=c), ou diferentes ($\neq c$).

Imagem	$= i \neq c$	$\neq i = c$	$= i = c$	$\neq i \neq c$
	(%)			
IKONOS-II – reflectância	100,0	7,2	0,0	92,8
IKONOS-II - valor de nível de cinza	94,4	7,1	5,6	92,9
LANDSAT/ETM+ - Banda 3	91,3	7,0	8,7	93,0
LANDSAT/ETM+ - Banda 4	92,7	7,3	7,3	92,7
LANDSAT/ETM+ - Banda 5	93,8	7,5	6,2	92,5

Legenda: (=) similar, (\neq) diferente, (c) campo e (i) imagem.

De acordo com estes valores, as porcentagens de pares de talhões, cujas médias apresentaram diferenças estatísticas significativas ($\neq i$) e que são iguais ($=c$) ou diferentes no campo ($\neq c$), são muito próximas, independentemente do satélite, da banda e do processamento realizado. No caso de porcentagens de pares de talhões, cujas médias não apresentaram diferenças estatísticas significativas ($=i$), os valores variaram um pouco mais, mas ainda ficaram bastante próximos um dos outros.

4.4. Correlação dos parâmetros da cultura com a resposta espectral das imagens.

Na Tabela 21 encontram-se os resultados da correlação entre as características dos talhões analisados e a porcentagem de reflectância em cada banda espectral considerada.

Tabela 21: Coeficiente de correlação entre os parâmetros da cultura e a porcentagem de reflectância para as imagens.

	Espaçamento (m ²)	Altura (m)	Idade (anos)	B3 (%)	B4 (%)	B5 (%)	Ikonos(%)
Espaçamento (m²)	1						
Altura (m)	0,26	1					
Idade (anos)	0,80*	0,61*	1				
B3(%)	-0,17	-0,56*	-0,32	1			
B4(%)	-0,13	-0,15	-0,18	-0,48*	1		
B5(%)	0,03	-0,26	0,07	0,62*	-0,06	1	
Ikonos (%)	-0,14	0,03	-0,15	-0,73*	0,81*	-0,48*	1

(*) nível de significância de 5%

Analisando o resultado das correlações é possível observar uma significativa correlação entre os parâmetros, espaçamento e idade. Essa correlação positiva corresponde ao fato que plantios mais antigos ocupam uma área maior no campo, em consequência dos espaçamentos maiores.

A correlação positiva entre a altura e idade da planta indica que plantas mais altas são mais velhas. Isto, no entanto, não é regra na cultura do café, por causa do número de podas realizadas nas lavouras. LEONARDI (1990), avaliando a correlação entre os parâmetros culturais do cafeeiro, também encontrou correlação significativa entre a altura e idade das plantas.

A altura foi a única variável que mostrou correlação significativa com uma das imagens analisadas. A correlação negativa da altura com a banda 3, do LANDSAT/ETM+, pode estar relacionada com a maior quantidade de fitomassa e com o sombreamento da cultura, acarretando uma menor reflectância da cultura nesta banda. Esta correlação assemelha-se à encontrada por LEONARDI (1990).

Um resultado importante, que é ressaltado na Tabela 21, é a correlação entre a Banda 4, 3 e 5 do LANDSAT/ETM+ e o canal pancromático do IKONOS-II, o que pode servir de ligação entre as duas imagens.

5. CONCLUSÕES

As imagens analisadas mostraram-se eficientes na identificação de talhões com características diferentes em campo. A imagem do canal pancromático do IKONOS-II, com valor de reflectância, foi a que teve melhor desempenho. Para os talhões com as quatro características (variedade, espaçamento, idade e altura) iguais em campo, as imagens analisadas não se mostraram eficientes, independentemente da banda temática considerada.

Certamente, outros fatores que não foram considerados nas comparações, tais como: o tipo de solo, a declividade média dos talhões e a orientação do declive, deverão ser considerados em um processo de identificação de padrões a partir de amostras realizadas em campo ou na própria imagem.

Dentre os talhões sem diferença estatística significativa entre suas médias, o espaçamento foi a propriedade que mais influenciou a não-diferenciação dos talhões em todas as imagens utilizadas.

As correções atmosférica e radiométrica na imagem do canal pancromático do IKONOS-II não proporcionaram ganho substancial nas análises realizadas, embora a imagem com valor de reflectância tenha apresentado um desempenho melhor na identificação de talhões com características diferentes em campo. Mesmo assim, recomenda-se, sempre que possível, a realização das correções atmosférica e radiométrica, pois os parâmetros atmosféricos utilizados na correção correspondem a uma atmosfera não muito turva, o satélite tinha apenas um ano de uso na época de aquisição da imagem e o canal pancromático do IKONOS-II é bastante largo, comparado às bandas espectrais do LANDSAT/ETM+.

O número de talhões identificados pela imagem do canal pancromático do IKONOS-II foi 1,5 vez superior ao do LANDSAT/ETM+, sendo que a maior área não identificada por este último foi de 4,4ha. Este resultado está diretamente relacionado com a melhor resolução espacial do IKONOS-II, a qual também auxiliou bastante os processos visuais realizados.

Os resultados obtidos indicam que as imagens do canal pancromático do IKONOS-II podem ser úteis na melhoria da identificação de plantios distintos de café, principalmente em áreas com plantios menores (próximo a 4,4ha), proporcionando um aumento na precisão da determinação da área plantada de café.

Esses resultados são válidos, principalmente, para as condições da cafeicultura dos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná, por conta das características da propriedade utilizada nos experimentos.

As correlações significativas da reflectância nas bandas 3, 4 e 5 do LANDSAT/ETM+, com a reflectância no canal pancromático do IKONOS-II, indicam que é possível estabelecer uma relação entre as imagens dos dois satélites. Desse modo, pode-se explorar as vantagens que as imagens de cada um deles apresentam para a determinação de plantios de café, visando a estimativa de área plantada.

Recomenda-se a repetição deste trabalho considerando o tipo de cafeicultura realizada nas regiões mais centrais do Brasil. Sugere-se, também, a utilização das bandas multiespectrais do IKONOS-II e o canal pancromático do LANDSAT/EMT+.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, Getúlio Texeira, et al. **Uso de sensores remotos abordo de satélites e aeronave na identificação e avaliação de áreas de culturas para fins de previsão de safras**. São José dos Campos: INPE, 1978. 46p. (Série Texto Técnico, INPE-1229-NTI/103).

BATISTA, Getúlio Texeira, et al. Avaliação de produtos HRV/SPOT e TM/LANDSAT na discriminação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.3, p.379-386, 1990.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.1, p.65-68, 2001.

CHEN, S. C.; TARDIN, A. T.; BATISTA, G. T. **Índice vegetativo e suas aplicações na agricultura**. São José dos Campos: INPE, 1986. 24p. (Série Texto Técnico, INPE-3912-MD/030).

COFFEE BREAK. **Regiões cafeeiras**. Disponível em: <<http://www.coffeebreak.com.br/oafezal.asp>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2002.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. ed. rev. Campinas: IIG/UNICAMP, 1992. 170p.

DALLEMAND, J.F., et al.. Sensoriamento remoto e agricultura. **Ciência Hoje**, São Paulo, v.8, n.43, 1988.

EMBRAPA. **O café no Brasil**. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/cafe>>. Acesso em: 20 de maio de 2000.

ENVI 3.2 The Environment for visualising images ®copyright 1992-2000 better solutions consulting L L C. Trademark of BSC.

EIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. Abordagens de uso de número digital e de refletância em sensoriamento remoto com dados de satélites. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5, 1988, Natal, RN. **Anais...**Natal:INPE, 1988.

EIPHANIO, J. C. N.; LEONARDI, L.; FORMAGGIO, A. R. Relações entre parâmetros culturais e resposta espectral de cafezais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.3, p.379-386, 1994.

EIPHANIO, J. C. N., et al. Índices de vegetação no sensoriamento da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.6, p.445-454, 1996.

FAZUOLI, L. C. A cultura do café. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Instruções técnicas para o Estado de São Paulo**. 5. ed. ver. atual. Campinas, 1990. 233p. (Boletim, 200).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Multiple frame agricultural survey. Roma: FAO, 1996, v.1, 119p. (FAO Statistical Development Series 10).

PIMENTEL-GOMES, F. **A Estatística Moderna na Pesquisa Agropecuária**. Piracicaba: Potafos, 1 ed., 162p. 1984.

- HAMADA, E. **Desenvolvimento fenológico do trigo (cultivar IAC24-tucuruí), comportamento espectral e utilização de imagens NOAA-AVHRR.** 2000. 152f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- HEMERLY, F. X. **Cadeia produtiva do café no Estado de São Paulo: possibilidades de melhoria de sua competitividade no segmento agrícola.** 2000. 210f. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- IPPOLITI-RAMILO, G.A. **Imagens LANDSAT/TM da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão.** 1998. 183f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- IPPOLITI-RAMILO, G.A.; EIPHANIO, J.C.N.; SHIMABUKURO, Y.E.; FORMAGGIO, A.R. Sensoriamento remoto orbital como meio auxiliar na previsão de safras. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v.46, n.1, p. 89-101, 1999.
- JOAQUIM, A.C.. **Identificação de Variedades de Cana-de-açúcar em Três Classes Texturais de Solo Através da Análise de Nível de Cinza em Imagens LANDSAT/TM.** 1998. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- KNIPLING, E. G. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment.**, v.1, p.155-159, 1970.
- LEONARDI, L. **Influência de parâmetros culturais de cafezais sobre o dados TM/LANDSAT-5.** 1990. 171f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

MATIELLO, J.B.; CARVALHO, F.; ABREU, R.G.; PAULINO, A.J. **Importância econômica do café no Brasil**. 4. ed., Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1981, p.1-24 (Instruções técnicas sobre a cultura do café no Brasil, 1).

MATIELLO, J. B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320p.

MATIELLO, J. B. **A cafeicultura no Brasil: diversidade é principal característica**. Disponível em: <<http://www.coffeebreak.com.br/ocafezal.asp>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2001.

NOVO, E. M. M. **Sensoriamento Remoto, Princípios e Aplicações**. 3. ed.. São José dos Campos: Edgar Blücher Ltda, 1988. 308p.

PEREIRA, J. L. G.; BATISTA, G. T.; ROBERTS, D. Reflectância de coberturas vegetais na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Santos, 1996. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p.411-416.

PICINI, A. G., et al.. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.1, p.157-170, 1999.

ROBINOVE, C. J. Computation with physical values from LANDSAT digital data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.48, n.5, p.309-317, 1982.

SPIEGEL, M.R. **Estatística: resumo da teoria**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 1977, 580p.

TANRÉ, D.; DEROO, C.; HERMAN, M.; MORCRETTE, J.J.; PERBOS, J.; DESCHAMPS, P.Y. Description of a Computer Code to Simulate the Satellite Signal in the Solar Spectrum: The 5S Code. **International Journal of Remote Sensing**, 11(4):659-668, 1990.

- TARDIN, A.T. et al. **Uso de sensoriamento remoto para avaliação de danos causados pela geada no Noroeste do Paraná.** São José dos Campos: INPE, 1975. 42p. (Série Texto Técnico, INPE-745-NTE/026).
- TARDIN, A.T.; ASSUNÇÃO. G.V.; SOARES, J.V. **Análise preliminar de imagens TM visando a discriminação de café, citrus e cana-de-açúcar na região de Furnas – MG.** São José dos Campos: INPE, 1990. 17p (Série Texto Técnico, INPE-5066-RPE/622).
- TOMAZIELLO, R. A.; TOLEDO FILHO, J. A.; LORENA NETO, B. **O agronegócio do café no Estado de São Paulo.** Disponível em: <<http://www.coffeebreak.com.br/ocafezal.asp>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2001.
- VELLOSO, M.H. **Coffee inventory through orbital imagery.** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1974. 20p.
- VELLOSO, M.H.; SOUZA, D.D. **Trabalho experimental de inventariação automática de cafezais utilizando imagens orbitais e o equipamento de Imagem-100.** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1978. 2p.
- VIEIRA, T. G. C.; LACERDA, M. P. C.; ALVES, H. M. R. Imagens orbitais aplicadas ao levantamento da cultura do café em Minas Gerais. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Belo Horizonte, 2001. **Anais...**Belo Horizonte, 2001. 86-89p.
- VOLPATO, M. M. L. **Imagens AVHRR-NOAA para determinação do potencial de incêndios em pastagens.** 2002. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- ZULLO JR., J. **Correção Atmosférica de Imagens de Satélite e Aplicações.** 1994. 190f.. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.